Geschichte der Optik,

vom

Ursprunge dieser Wissenschaft bis auf die gegenwärtige Zeit,

von

Dr. *Emil Wilde*,
Professor der Mathematik und Physik am Berlinischen Gymnasium zum grauen Kloster.

Erster Theil.
Von Aristoteles bis Newton.

Berlin, bei Rücker und Püchler.
1838.

Geschichte der Optik.

Erster Theil.

Vorwort.

Die Untersuchung der Gesetze, denen die Bewegung des Lichtes, dessen Wirkungen sich allen unseren Sinnen auf unendlich mannigfache Weise täglich kund geben, unterworfen ist, hat eben defshalb die Naturforscher seit der frühesten Zeit lebhaft und vorzugsweise beschäftigt. Nicht blofs da, wo irgendwo bei einem Volke die Wissenschaften blüheten, finden wir die Optik mit besonderer Vorliebe behandelt, sondern selbst in den finstersten Jahrhunderten des Mittelalters die umfangreichsten Werke, wie sie kaum die neuere Zeit entstehen sahe, über diese Wissenschaft verfafst. Darum gewährt aber auch die Geschichte keiner anderen physikalischen Disciplin ein so hohes Interesse, wie die der

Optik, indem es in keiner anderen, so wie hier, offenbar wird, dafs der menschliche Geist nur in stufenweiser, und dabei doch im innigsten Zusammenhange stehender, Entwickelung zum endlichen Gewinne der Wahrheit heranreift.

Bekanntlich ist die Geschichte der Optik nicht blofs in Andeutungen, wie von Montucla, sondern auch in ausführlicherer Weise schon von Joseph Priestley in dem Werke *The history and present state of discoveries relating to vision, light and colours. Lond.*, 1772. behandelt worden. Abgesehen aber davon, dafs seit dem Erscheinen desselben beinahe ein Jahrhundert verflossen ist, dafs man also die reiche Ausbeute der auf diesem Gebiete in der neueren Zeit angestellten Forschungen vergebens darin sucht, so beschränkt es sich auch, mit Uebergehung der Theorie, fast nur auf das Experimentale, und enthält überdies so viel Ungenaues, oder gar Unwahres, dafs es von Klügel nur theilweise berichtigt werden konnte. Nichtsdestoweniger ist die Anerkennung, die jenes Werk, als die erste Arbeit dieser Art, jetzt schon siebzig Jahre hindurch gefunden hat, gewifs eine wohlverdiente gewesen.

Was die neue Bearbeitung einer ausführlichen Geschichte der Optik, die ich unternommen habe, betrifft, so fand ich mich hierzu nicht allein durch die Liebe, die ich immer für die Physik gehabt habe, sondern auch dadurch veranlaſst, daſs mir, so wie für die Physik überhaupt, so besonders auch für die Optik eine reichhaltige Bibliothek, und ein nicht minder reichhaltiger Apparat zu Gebote stehen. Wie ich diese Mittel benutzt habe, und noch weiter benutzen werde, darüber kommt das Urtheil dem sachverständigen Publikum allein zu. Doch so viel sei mir erlaubt, zur Empfehlung meiner Arbeit zu sagen, daſs ich mich nirgend auf eine fremde Autorität verlassen, sondern überall die Quellen selbst studirt habe. Der synchronistischen Methode bin ich gefolgt, weil sie es am besten übersehen läſst, wie und durch wen das ganze Gebäude der Optik zu seiner gegenwärtigen Höhe gediehen ist.

In einem zweiten Bande hoffe ich die Geschichte dieser Wissenschaft bis zum Ende des achtzehnten, und in einem dritten die des jetzigen Jahrhunderts bald nachfolgen zu lassen.

Auf die Tilgung der Druckfehler ist so

grofse Sorgfalt verwandt worden, dafs ich behaupten zu können glaube, dafs sich nirgend in diesem Buche ein sinnstörendes typographisches Versehen vorfinden dürfte. Nur pag. 203. ist statt „Brewster", der dort fälschlich der Erfinder der *Camera lucida* genannt ist, „Wollaston" zu lesen.

Berlin, im Juli 1838.

Der Verfasser.

Die Optik der Griechen.

Die ältesten Hypothesen über das Licht und die Farben, wie sie von Plutarch und Diogenes Laertius überliefert sind — Die Quelle des Lichtes ist das Auge — Die Platonische Synaugie.

Das Licht, die Ursache der Sichtbarkeit alles Erschaffenen, dies gemeinsame, so seegensreiche Eigenthum aller Geschöpfe des Weltalls, hat in der Natur eine zu wichtige Bestimmung, als dafs die nähere Untersuchung seiner Eigenschaften der Aufmerksamkeit des geistreichsten Volkes im Alterthume hätte entgehn können. Den Griechen verdanken wir nicht blofs die Entdeckung der Gesetze, welche das Licht bei seiner Bewegung durch gleichartige und ungleichartige Mittel, und wenn es von polirten Flächen zurückgeworfen wird, befolgt; sondern sie allein unter allen Völkern des Alterthums erkannten auch aus der Natur dieser Gesetze, dafs die Optik eine mathematische Disciplin sei, und versuchten es zuerst, den unendlich feinen, sich unseren Sinnen als unkörperlich darstellenden Stoff des Lichtes unter die Herrschaft der Mathematik zu bringen.

Wie schwer es indefs gewesen sei, selbst die gewöhnlichsten Erscheinungen, welche das Licht darbietet, auf deutliche Begriffe zurückzuführen, ersehen wir aus den Nachrichten, die uns Plutarch in der

Schrift „Ueber die Meinungen der Philosophen" [1]) hinterlassen hat. Er berichtet uns hier [2]) unter anderen, dafs Epikur der Meinung gewesen sei, es erfolge das Sehen durch ein Ausströmen der Bilder aus den Augen. Auch habe Hipparch es für wahrscheinlich gehalten, dafs die Quelle des Lichtes in den Augen liege, dafs die aus denselben ausgehenden Lichtstralen sich bis zu den äufseren Gegenständen erstrecken, und die Empfindung des Sehens ungefähr auf dieselbe Weise erregen, wie wir durch das Getast der Hände das Vorhandensein eines Gegenstandes wahrnehmen. Plato dagegen habe in seiner Hypothese der Synaugie behauptet, dafs das Licht nicht allein aus den Augen, sondern auch von den Gegenständen bis auf eine gewisse Entfernung ausströme, dafs die beiderseitigen Stralen einander entgegenkommen, und durch ihr Zusammentreffen die Empfindung des Sehens erregen [3]).

1) *Περὶ τῶν ἀρεσκόντων τοῖς φιλοσόφοις.* Die wichtigsten Stellen aus den Griechichen Werken, welche die Optik betreffen, findet man gesammelt in Schneider's *Eclogis physicis.* Jena und Leipzig, 1801.

2) Lib. IV, cap. 13.

3) Diese Stelle findet sich fast wörtlich auch in des Nemesius Schrift *Περὶ φύσεως ἀνθρώπου*, im Anfange des siebenten Kapitels, welches von dem Sinne des Gesichtes handelt. Es steht übrigens in diesem Buche des Nemesius, der gegen das Ende des vierten Jahrhunderts nach Chr. Bischof von Emesa in Cölesyrien war, durchaus nichts, das die damaligen irrigen Begriffe über die Optik auch nur im mindesten berichtigt hätte. Nur Folgendes will ich aus derselben anführen: „Die Geometer beschreiben gewisse Kegel, die durch das Zusammentreffen der aus den Augen kommenden Stralen entstehn. Sie glauben nämlich, dafs das rechte Auge Stralen zur Linken, das linke aber zur Rechten entsende, und dafs durch ihr Zusammentreffen ein Kegel gebildet werde; woher es auch komme, dafs das Auge Vieles zugleich übersehen könne, dafs es aber nur da, wo die Stralen zusammentreffen, deutlich sehe." Nemesius führt weiter an, dafs Porphyrius in dem Buche *Περὶ*

An einer andern Stelle [1]) jenes Buches führt Plutarch auch die ältesten Hypothesen über die Entstehung der Bilder in den Spiegeln an. Nach Demokrit und Epikur entständen sie dadurch, dafs die aus den Augen kommenden Bilder sich auf dem Spiegel auf die entgegengesetzte Seite wenden; die Schüler des Pythagoras aber hätten ihre Entstehung in dem Zurückprallen der Opsis von dem Spiegel gesucht, indem letztere dabei etwas Aehnliches erleide, wie wenn man eine Hand ausstrecke, und sie nach der Schulter zurückziehe.

Dafs die von Plutarch über die Entstehung der Farben mitgetheilten [2]) Hypothesen eben so ungereimt sind, wird man nicht anders erwarten. Plato hielt die Farbe für eine Art von Flamme [3]), die aus sehr kleinen Körperchen besteht, die vom Objekte ins Auge geschleudert werden, mit dessen Poren sie vermöge ihrer Kleinheit und Gestalt übereinstimmen. Die Pythagoreer nannten die Oberfläche des Körpers seine Farbe, und nahmen vier Grundfarben an: weifs, schwarz, roth und gelb. Zeno der Stoiker hielt die Farben für die ersten Formen der Materie.

Auch Diogenes Laertius hat uns in seinen „Biographien berühmter Philosophen" mehrere Hypo-

αἰσθήσεως behaupte, die Ursache des Sehens sei weder ein von den Stralen gebildeter Kegel, noch ein von den Gegenständen ausgehendes Bild, noch irgend etwas Anderes der Art, sondern die Seele sehe sich selbst in den äufseren Gegenständen, indem sie alles, was ist, enthalte.

1) Lib. IV, cap. 14.

2) Lib. I, cap. 15.

3) *Φλὸξ, σύμμετρα μόρια ἔχουσα πρὸς τὴν ὄψιν. Plato statuit, colorem nonnisi genus esse flammae, constantis ex minutis corpusculis, ab objecto quasi vibratis in oculum, cuius poris parvitas et figura eorum congrua ipsa redderet.* Boyle *Experimenta et considerationes de coloribus*, cap. 5.

1*

thesen, die Art und Weise, wie wir sehen, betreffend, aufbehalten, die er beiläufig anführt. So wird in der Lebensbeschreibung Zeno's dem Chrysippus und Apollodorus eine Behauptung zugeschrieben [1]), die wir auch bei Euklides finden. Das Sehen erfolge nämlich, indem das Licht zwischen dem Auge und dem Gegenstande die Gestalt eines Kegels annehme, dessen Spitze am Auge, und dessen Grundfläche am Gegenstande sei.

Vom Pythagoras sagt Diogenes [2]), er habe behauptet, im Allgemeinen sei jeder Sinn, besonders aber das Gesicht, eine gewisse heifse Ausdünstung, vermittelst deren wir durch Luft und Wasser sehen; denn das Heifse werde von dem Kalten zurückgeworfen. Wäre die Ausdünstung der Augen kalt, so würde sie in die ähnliche Luft übergehn.

In einem Verzeichnisse der Schriften des Demokrit von Abdera, welches Diogenes gleichfalls mittheilt [3]), kommen auch zwei unter den Titeln: *Ἐκπετάσματα* und *Ἀκτινογραφίη* vor. Wenn es auch bei der ersten ungewifs ist, ob sie von der Ausbreitung der Lichtstralen gehandelt habe, so läfst es sich doch bei der zweiten Schrift nicht bezweifeln, dafs sie optischen Inhalts gewesen sei [4]). Ungeachtet Demokrit zwischen 470. und 305. vor Chr. lebte, so ist

1) Lib. VII, cap. 1, n. LXXXIV, ed. Kraus.
2) Lib. VIII, cap. 1, n. XIX.
3) Lib. IX, cap. 7, n. XIII.
4) Fabricius bibl. Gr., tom. II, pag. 638, ed. Harles, der sich auf den Vitruv praef. ad lib. VII. bezieht, hält die *Ἐκπετάσματα* für ein optisches Werk, Chrysostomus Magnenus aber nimmt sie im *Democritus reviviscens*, pag. 8, n. 6, nur für *explicationes mathematicae*. Ueber die *Ἀκτινογραφίη* sagt ebenderselbe p. 19, n. 13: *Radiorum descriptio, sive de projectionibus opticis et geometricis, et propagatione linearum physicarum.*

diese seine optische Schrift dennoch nicht die älteste, von der wir Kunde erhalten haben. **Vitruv** nennt [1]) als die ältesten Schriftsteller, die von der Perspektiv geschrieben haben, den **Agatharchus** und **Anaxagoras**.

Aufser dem **Plutarch** und **Diogenes Laertius** hat uns auch **Joannes Stobäus**, ein Schriftsteller des fünften Jahrhunderts nach Chr., in seinen „Physischen Eklogen" einige, die Optik betreffende Aussprüche der älteren Griechischen Philosophen aufbehalten, die aber gröfstentheils schon von **Plutarch** angeführt sind, und um so mehr übergangen werden können, als man aus den bereits angeführten Stellen den Zustand der Optik vor **Euklides** zur Genüge wird beurtheilen können. Man würde in der That nicht begreifen, wie statt der hier angeführten so gekünstelten, und dabei doch so unwahrscheinlichen Hypothesen nicht vielmehr die einfache, nahe liegende Wahrheit gewählt wurde, wenn man sich nicht an den Entwickelungsgang des menschlichen Geistes überhaupt, und insbesondere an das ähnliche Schicksal aller jener Wissenschaften, die ihre Grundgesetze aus der Erfahrung entlehnen, erinnern wollte.

1) In der Vorrede zum siebenten Buche.

Aristoteles.

Geboren 384., gestorben 322. vor Chr.

Das Licht ist nicht etwas Körperliches, eine Substanz, wie dies Empedokles behauptet hatte, sondern nur etwas, dessen die Substanz theilhaftig werden, das ihr begegnen kann, ein Unkörperliches, ein Accidens — Zweifel gegen die Hypothese, dafs das Auge die Quelle des Lichtes sei — Die Empfindung des Sehens erfolgt durch eine Bewegung des Mittels zwischen dem Auge und dem Gesehenen, nicht aber durch einen Ausflufs aus dem leuchtenden Körper — Die Farben entstehn entweder durch eine verschiedene Lage der beiden Grundfarben, Weifs und Schwarz, gegen einander, oder durch eine verschiedene Mischung derselben — Der Regenbogen entsteht durch eine Zurückwerfung der Sonnenstralen von einer Regenwolke; die Verschiedenheit seiner Farben dadurch, dafs die Sonnenstralen mehr oder weniger in dem Wasserdunste getrübt und verdunkelt werden.

Unter den Philosophen des Alterthums hat wohl keiner gründlicher und tiefer über das innere Wesen des Lichtes gedacht, als Aristoteles. Was er über die Fortpflanzung desselben sagt, ist in der neuesten Zeit fast über jeden Zweifel erhoben worden; wie weit er aber in dem schwierigsten Gebiete der Optik, in der Farbenlehre, seiner Zeit vorangeeilt sei, erhellt schon daraus, dafs seine Lehre selbst heutigen Tages bei einer höchst vervollkommneten Technik ihre Anhänger finden konnte.

Aristoteles hat seine Untersuchungen über das Licht besonders in den drei Abhandlungen „Ueber die Seele, über die Sinne und über die Farben" niedergelegt. Das Licht, sagt er in der ersten [1]), ist der *actus* des Durchsichtigen, insofern es durchsichtig ist;

1) Lib. II, cap. 7. *Φῶς ἐστιν ἡ τούτου ἐνέργεια τοῦ διαφανοῦς, ᾗ διαφανές· δυνάμει δὲ ἐν οἷς τοῦτό ἐστι, καὶ τὸ σκότος*, und bald nachher: *ἡ δ' ἐντελέχεια τοῦ διαφανοῦς φῶς ἐστι.*

worin es aber nur *potentia* ist, da kann auch Finsternifs sein. Es ist weder ein Körper, wie dies Empedokles behauptet hat, noch der Ausflufs eines Körpers, sondern es ist die Anwesenheit des Feuers, oder eines Anderen der Art in dem Durchsichtigen. Denn zwei Körper können nicht zugleich an einem und demselben Orte sein. Die Farbe ist das im Lichte Gesehene, wefshalb sie auch nicht gesehen wird ohne Licht. Darin aber besteht das eigentliche Wesen der Farbe, dafs sie das wirklich Durchsichtige, wie die Luft, in Bewegung setzt. Könnte jemand etwas, das eine Farbe hat, unmittelbar auf das Auge setzen; so würde er es nicht sehen, weil alsdann das Medium zwischen dem gefärbten Körper und dem Gesichtsorgane fehlen würde, gerade so wie das Ohr keinen Ton vernehmen könnte, wenn der ertönende Körper dies Organ unmittelbar berührte. Demokrit hat daher Unrecht, wenn er sagt, dafs man, wenn der Zwischenraum leer wäre, selbst eine Ameise am Himmel deutlich sehen würde. Wäre der Zwischenraum leer, so würde man nicht nur nicht eine Ameise, sondern überhaupt gar nichts sehen.

In der Schrift „Ueber die Sinne" handelt das zweite Kapitel von dem Gesichte. Aristoteles erklärt sich hierin gegen den Empedokles und den Plato im Timäus, welche behauptet hatten, dafs das Auge feueriger Natur sei, und dafs das Sehen erfolge, indem das Licht aus dem Auge, wie aus einer Laterne ausströme. „Wenn das Auge feueriger Natur ist", sagt er, „warum sehen wir denn nicht auch im Finstern?" Er erklärt sich vielmehr für die Ansicht des Demokrit, dafs das Innere des Auges wässerig sei. Dies müsse nämlich durchsichtig sein, weil sich der Gesichtsnerv an der hinteren Seite desselben befindet.

Dafs diese innere durchsichtige Masse des Auges aber von wässeriger Beschaffenheit sei, sehe man schon aus dem wässerigen Ausflusse, der sich bei Augenkrankheiten zeige.

In dem dritten Kapitel dieser Schrift handelt er von den Farben, deren Verschiedenheit er in einer verschiedenen Lage des Weifsen gegen das Schwarze, oder in einer verschiedenen Mischung dieser beiden Grundfarben sucht. Denn wie zwei zu drei, oder wie drei zu vier, oder wie zwei andere ganze Zahlen können sie neben einander liegen. Andere wieder können durch ein inkommensurables Verhältnifs entstehen. Die Farben aber, welche nach einfachen Verhältnissen (ἐν ἀριθμοῖς εὐλογίστοις) gemischt sind, scheinen, wie die Konsonanzen in der Musik, die angenehmsten zu sein, wie Purpur und Scharlach. Eine andere Art, wie die Farben entstehn könnten, sei die, dafs das Schwarze durch das Weifse, oder umgekehrt dieses durch jenes hindurchscheine, wie z. B. die Sonne zwar an und für sich weifs sei, aber durch Nebel und Rauch betrachtet roth aussehe. Eine dritte endlich sei die, dafs die Atome der Grundfarben weder neben einander, noch über einander liegen, sondern dafs sie ein inniges, sich aufs vollkommenste durchdringendes Gemisch bilden. Aristoteles erinnert auch hier, dafs man sich das Licht und die Farben nicht als körperliche Ausflüsse aus den leuchtenden Gegenständen vorzustellen habe, sondern dafs vielmehr das Sehen durch eine Bewegung des durchsichtigen Mittels zwischen dem Auge und dem Gesehenen erfolgen dürfte.

Die Schrift „Ueber die Farben" wird zwar mit allgemeiner Uebereinstimmung der Peripatetischen Schule, nicht aber gerade dem Aristoteles zuge-

schrieben [1]). Allerdings mufs man schon defshalb, weil hier drei Grundfarben, die weifse, gelbe und schwarze, angenommen werden, zweifeln, dafs letzterer der Verfasser sei. Diese Farben aber werden als einfache angesehn, weil sie bei den Elementen, dem Feuer, der Luft, dem Wasser und der Erde vorkommen sollen. Denn Luft und Wasser seien von Natur weifs, das Feuer aber und die Sonne gelb; die Erde sei gleichfalls von Natur weifs, und zeige sich nur durch die Färbung anderer Körper in verschiedener Farbe. Man sehe dies besonders an der Asche; wenn das die Färbung bewirkende Feuchte verbrannt ist, werde sie weifs. Dafs sie nicht völlig weifs sei, liege darin, weil sie noch durch den Rauch, der schwarz ist, gefärbt werde. Durch eine Mischung oder durch das Mehr oder Weniger dieser einfachen Farben entstehn aber alle übrigen. Mischt sich z. B. Schwarzes mit dem Lichte der Sonne oder des Feuers, so sehe man die blaurothe Farbe (*τὸ φοινικοῦν*) entstehen; mischt sich aber mäfsiges Weifs und Schwarz mit schwachem Sonnenlichte, so entstehe die gelbrothe Farbe (*τὸ ἁλουργὸν*), wie man dies unter anderen an der Morgen- und Abenddämmerung sehe.

1) Simon Portius, der sie im Jahre 1548. ins Lateinische übersetzte (*De coloribus libellus, a Simone Portio Neapolitano latinitate donatus, et commentariis illustratus. Florentiae*, 1548.), und Hieronymus Mercurialis (*Variae lectiones*, III, 13.) sind geneigt, den Theophrast von Eresus, einen Schüler des Aristoteles, als ihren Verfasser anzusehen; andere, wie Patricius (*Discussiones Peripateticae*, p. 44.) und Conringius (*Epistola ad Rachelium*) schreiben sie dem Strato von Lampsakus, einem Schüler des Theophrast, zu; von Plutarch aber, der von zwei Büchern dieser Schrift spricht, und von Pachymeres wird sie, wie Portius p. 24. berichtet, dem Aristoteles beigelegt. Conf. *Fabricii bibl. Gr.* ed. Harles, Vol. III. p. 245. und 253.

Seine Ansichten über die Entstehung des Regenbogens theilt Aristoteles in der Meteorologie [1]) mit. Als die Ursache desselben sieht er eine Zurückwerfung der Sonnenstralen von einer gegenüber stehenden Regenwolke an; die Verschiedenheit seiner Farben aber erklärt er durch die mehr oder weniger schräge Richtung, in der die Stralen einfallen. Die schrägsten können am wenigsten in die Wolke eindringen, werden also am stärksten reflektirt, und bewirken die lebhafteste, die rothe Farbe u. s. w. Den äufseren Regenbogen erklärt er auf dieselbe Weise, wie den inneren; er läfst ihn nur in einer höheren Gegend des Wasserdunstes entstehn.

Euklides.

Um das Jahr 300. vor Chr.

Das Auge ist die Quelle des Lichtes, dessen Bewegung geradlinig ist — Die von den Gesichtsstralen eingeschlossene Figur ist ein Kegel, der seinen Scheitel im Auge, und seine Grundfläche auf der Grenze der sichtbaren Gegenstände hat — Bei ebenen, erhabenen und hohlen Spiegeln ist der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel — Das Spiegelbild eines leuchtenden Punktes liegt jedesmal in dem Durchschnitte des von dem leuchtenden Punkte auf den Spiegel gefällten Lothes, und des reflektirten Strales — Von einem Hohlspiegel werden die Stralen so zurückgeworfen, dafs sie vor demselben entweder divergiren, oder konvergiren; von einem ebenen und erhabenen aber nur so, dafs sie divergiren — Die Spiegelbilder sind den Gegenständen nur symmetrisch gleich — Das Bild eines geraden, vor einem erhabenen Spiegel stehenden Gegenstandes erscheint gekrümmt — Der Brennpunkt eines Hohlspiegels liegt entweder in dem Mittelpunkte seiner Kugel, oder an einer Stelle zwischen diesem Mittelpunkte und dem Spiegel.

1) Lib. III, cap. 2.

Unter den Schriften, als deren Verfasser man den Euklides anzusehen pflegt, befindet sich auch eine, in welcher die Mathematik auf die geradlinige, und von ebenen und sphärischen Spiegeln reflektirte Bewegung des Lichtes in zwei besonderen Abhandlungen angewandt ist. Man hat aber diese Schrift für unwürdig des grofsen Geometers gehalten, weil einige Sätze nicht bestimmt genug angegeben sind, andere auffallende Unrichtigkeiten enthalten, und weil man überhaupt auch die systematische Ordnung, durch welche sich die Elemente eben dieses Verfassers so sehr auszeichnen, darin vermifst; wozu noch komme, dafs in den meisten Handschriften „ἐκ τοῦ Θέωνος ἐκδόσεως, oder ἐκ τῶν Εὐκλείδου συνουσιῶν" steht. Dafs indessen in diesen Worten kein Grund gegen die Aechtheit des Werkes liege, und dafs man nichts anderes hieraus entnehmen könne, als dafs Theon dasselbe herausgegeben habe, erhellt schon daraus, dafs dieser selbst den Euklides als den Verfasser der Optik nennt [1]). Auch Proklus [2]), Marinus [3]) und Damianus schreiben die Optik dem Euklides zu; Proklus auch die Katoptrik. Was aber den erheblicheren Grund, die Planlosigkeit des überdies durch mehrere Fehler entstellten Werkes, betrifft, so verliert er allerdings von seiner Wahrscheinlichkeit, wenn man aus den vorhin mitgetheilten Stellen den Zustand, in welchem Euklides die Optik vorfand, mit dem, was in dieser Schrift geleistet wird,

1) *In Almag. librum primum. Basileae*, 1538, pag. 7.

2) *In primum Euclidis*, Lib. II. *Basileae*, 1533, pag. 20.

3) In der Ausgabe der sämmtlichen Werke des Euklides von David Gregory. Oxford, 1703. pag. 458. in der Vorrede des Marinus zu den *Datis* des Euklides.

vergleicht; wenn man die unhaltbaren Hypothesen seiner Vorgänger mit der hier gegebenen mathematischen Entwickelung der Gesetze, die das Licht befolgt, zusammenhält; wenn man sich endlich erinnert, dafs einer der berühmtesten Astronomen der neuern Zeit, Kepler, noch in demselben Irrthume, den Brennpunkt der Hohlspiegel betreffend, befangen ist, den man besonders bei Euklides herausgehoben und unerklärlich gefunden hat [1]): doch ist es sehr wahrscheinlich, dafs dies Werk, so wie wir es jetzt haben, nicht von Euklides allein herrühre, sondern dafs es durch Zusätze von Theon und anderen Kommentatoren entstellt worden sei. Wie sich dies aber auch verhalten mag, so ist doch so viel gewifs, dafs es nur die Idee eines ausgezeichneten Kopfes sein konnte, das Licht, dessen Bewegungsgesetze so wesentlich von denen der Körper abweichen, dem Kalkul zu unterwerfen, so ungenügend auch immer der erste Versuch ausfallen mogte.

Da diese Schrift unter den optischen, die uns aus dem Alterthume erhalten wurden, die älteste ist, und da sie überdies bis zu den Zeiten Kepler's hin eine vorzügliche Autorität hatte, so will ich wenigstens die in ihr vorkommenden Theoreme angeben [2]).

1) Kepler bezweifelt nicht die Aechtheit der Schrift. *Epistola CLII. Joan. Keplerus Ioanni Georgio Brenggero* in der Ausgabe der *Epistolae ad Joan. Keplerum* von Hansch. Es heifst hier: *Euclidis Catoptrica νοθεύειν arguis, meo judicio perperam. Verba tersa, nitida, emuncta, imo tornata, demonstrationes rotundae et breves, distinctio diligens inter assumta et ex assumtis demonstrata. Itaque non est, ut ais, turpis lapsus, ex assumto falso videre, quid sequatur, sed et confessio obscuritatis naturae: falsum assumere, aut si error, non certe incredibilis in Euclide, qui cum sua aetate de ὄψεοι philosophatur ad captum hominum illorum.*

2) Nach der Ausgabe von David Gregory. Oxford, 1703.

Die Optik des Euklides.

Die Erfahrungssätze, auf welche **Euklides** seine Optik gründet, sind folgende:

1) Die aus dem Auge kommenden Stralen gehen in geraden Linien fort, und haben eine gewisse Entfernung von einander.

2) Die von den Gesichtsstralen eingeschlossene Figur ist ein Kegel, der seinen Scheitel im Auge, und seine Grundfläche auf der Grenze der sichtbaren Gegenstände hat.

3) Nur diejenigen Gegenstände sind sichtbar, zu denen die Stralen des Auges gelangen; unsichtbar sind diejenigen, zu denen die Stralen nicht gelangen.

4) Die Gegenstände, die unter einem gröfseren Winkel gesehen werden, erscheinen gröfser; die aber unter einem kleineren Winkel gesehen werden, kleiner.

5) Gegenstände, die unter gleichen Winkeln gesehen werden, erscheinen gleich grofs [1]).

6) Das unter höheren Stralen Gesehene erscheint höher, das unter niedrigeren Gesehene niedriger.

7) Das unter mehr rechts gelegenen Stralen Gesehene erscheint mehr rechts, das unter mehr links gelegenen Stralen Gesehene mehr links gelegen.

8) Was unter mehreren Winkeln gesehen wird, erscheint deutlicher.

1) Von den offenbar unrichtigen Sätzen 4) und 5), in denen die Gröfse det Gegenstände blofs von ihrem Sehwinkel, ohne Rücksicht auf ihre Entfernung, abhängig gesetzt wird, wich schon **Ptolemäus**, und noch entschiedener **Alhazen** ab, der die Gröfse der Gestirne am Horizonte daraus erklärte, dafs sie bei ungeändertem Sehwinkel von der Phantasie in eine gröfsere Entfernung gesetzt würden. Doch rügt der Arabische Optiker, indem er diese Erklärung als sehr wahrscheinlich hinstellt, den Irrthum des **Euklides** nicht; der erste, der dies that, war, so viel ich finden kann, **Porta** in der Schrift *De refractione*, lib. I, prop. 11. und 12.

Aus diesen Sätzen, welche **Euklides** für unbestreitbare Thatsachen hält, leitet er die folgenden ein und sechszig Theoreme her.

Theor. 1. Kein sichtbarer Gegenstand wird zugleich ganz gesehen.

Der Beweis wird für diesen Satz, wie für die folgenden, in mathematischer Weise und Strenge geführt. Es sei, sagt **Euklides**, $A\Delta$ der sichtbare Gegenstand, das Auge befinde sich in B, von dem nach dem Gegenstande die Stralen BA, $B\Gamma$, BK, $B\Delta$ ausgehen. Da nun die Stralen eine gewisse Entfernung von einander haben, so können sie nicht stätig auf den Gegenstand $A\Delta$ fallen. Es sind daher in $A\Delta$ gewisse Stellen, zu denen die Stralen nicht gelangen, und defshalb kann $A\Delta$ nicht zugleich ganz gesehen werden. Gleichwohl glaubt man den Gegenstand ganz zu sehen, wegen der Schnelligkeit, mit welcher sich die Lichtstralen bewegen.

Theor. 2. Von gleichen Gröfsen, die ungleich vom Auge entfernt sind, sieht man die näher gelegenen deutlicher.

Theor. 3. Jeder leuchtende Gegenstand wird bei einer gewissen Gröfse der Entfernung nicht mehr gesehen.

Den Beweis dieses Satzes führt **Euklides** folgendermaafsen: In B sei das Auge, der leuchtende Gegenstand in $\Gamma\Delta$. Aus B ziehe man die Stralen $B\Gamma$, $B\Delta$, so wird, wenn $\Gamma\Delta$ oberhalb nach K versetzt wird, die Gröfse K von den Stralen $B\Gamma$ und $B\Delta$ nicht erreicht werden. Wohin aber die Stralen des Auges nicht gelangen, dies kann nicht gesehen werden (Erfahrungss. 3.), daher giebt es u. s. w.

In einem Zusatze sagt er: Sollte Jemand einwenden, dafs wenn gleich die Stralen $B\Gamma$ und $B\Delta$ den

Gegenstand K nicht treffen können, doch die dazwischen liegenden Stralen ihn erreichen werden, so erwidere ich, dafs der Gegenstand $\Gamma\Delta$ so weit vom Auge entfernt werden müsse, bis ihn auch diese Stralen nicht mehr treffen können.

Theor. 4. Von gleichen, auf derselben geraden Linie genommenen Abständen erscheinen die aus einer gröfseren Entfernung betrachteten kleiner.

Theor. 5. Gleiche Gröfsen, die ungleich entfernt sind, erscheinen ungleich, und diejenige stets gröfser, welche dem Auge näher ist.

Theor. 6. Parallele Linien aus der Ferne betrachtet, scheinen nicht dieselbe Entfernung von einander zu behalten.

Der Beweis ist mit grofser Ausführlichkeit sowohl für den Fall, wenn das Auge in einer Ebene mit den beiden Parallelen ist, als auch wenn es sich über oder unter ihrer Ebene befindet, geführt.

Theor. 7. Wenn auf einer geraden Linie gleiche Stücke, die nicht unmittelbar an einander, sondern in einiger Entfernung von einander liegen, aufgetragen werden, so erscheinen sie ungleich, das dem Auge näher gelegene gröfser, als das entferntere.

Theor. 8. Gleiche Gröfsen, die vom Auge ungleich entfernt sind, werden nicht ihren Entfernungen proportional gesehen.

Euklides zeigt, ohne die Hilfe der Trigonometrie zu kennen, in einem weitläufigen geometrischen Beweise, dafs das Verhältnifs der gröfseren und kleineren Entfernung ein anderes sei, als das Verhältnifs des gröfseren und kleineren Sehwinkels. Es ist dies der bekannte Satz: die Tangenten der Sehwinkel gleicher Gröfsen, die sich in ungleicher Entfernung vom Auge befinden, und nicht die Sehwinkel selbst verhal-

ten sich verkehrt, wie die Entfernungen, der nach dem heutigen Zustande der Wissenschaft durch eine einzige Gleichung bewiesen wird.

Theor. 9. Quadrate, aus der Ferne betrachtet, erscheinen kreisförmig.

Theor. 10. Von Ebenen, die unter dem Auge liegen, erscheinen die entfernteren Theile höher.

Theor. 11. Von Ebenen, die über dem Auge liegen, erscheinen die entfernteren Theile niedriger.

Theor. 12. Von Gegenständen, die nach vornhin sich erstrecken (*τῶν εἰς τοὔμπροσθεν μῆκος ἐχόντων*), treten die entfernteren, zur Rechten gelegenen Theile linkshin, die zur Linken gelegenen rechtshin hervor.

Theor. 13. Von gleichen Gröfsen, die unter dem Auge liegen, erscheinen die entfernteren höher.

Theor. 14. Von gleichen Gröfsen, die höher liegen, als das Auge, erscheinen die entfernteren niedriger.

Theor. 15. Wenn von zwei Gröfsen, die unter dem Auge liegen, die eine über die andere um ein gewisses Stück hervorragt, so wird dieses, wenn das Auge sich nähert, gröfser; wenn es sich entfernt, kleiner.

Theor. 16. Wenn von zwei Gröfsen, welche höher liegen, als das Auge, die eine über die andere um ein gewisses Stück hervorragt, so wird dieses, wenn das Auge sich nähert, kleiner; wenn es sich entfernt, gröfser.

Theor. 17. Wenn von zwei Gegenständen der eine über den anderen hervorragt, und das Auge in derselben horizontalen Linie bleibt, welche durch das obere Ende des kleineren Gegenstandes geht, so ragt der gröfsere stets um dasselbe Stück über den kleineren hervor, das Auge mag sich nähern, oder entfernen.

18. Aufgabe. Die Gröfse einer gegebenen Höhe zu finden.

Es wird die bekannte Methode, die Höhe aus ihrem Schatten zu finden, gelehrt.

19. Aufgabe. Die Gröfse einer gegebenen Höhe auf eine andere Weise, als durch ihren Schatten zu finden.

Es wird die Methode, die Höhe mit Hilfe eines ebenen Spiegels zu finden, gelehrt.

20. Aufgabe. Die Gröfse einer gegebenen Tiefe zu finden.

21. Aufgabe. Die Gröfse einer gegebenen Länge zu finden.

Theor. 22. Ein Kreisbogen in derselben Ebene, in welcher sich das Auge befindet, beschrieben, scheint eine gerade Linie zu sein.

Theor. 23. Von einer jeden Kugel, die nur mit einem Auge betrachtet wird, sieht man stets weniger, als die Hälfte; was aber von derselben gesehen wird, erscheint von einem Kreise begrenzt.

Theor. 24. Je mehr sich das Auge einer Kugel nähert, desto weniger sieht es von derselben; man glaubt aber (wegen des gröfser werdenden Sehwinkels) mehr zu sehen.

Theor. 25. Eine aus der Ferne betrachtete Kugel scheint ein Kreis zu sein.

Theor. 26. Wenn eine Kugel mit beiden Augen gesehen wird, und ihr Durchmesser der geraden Linie zwischen den beiden Augen gleich ist, so sieht man die Hälfte derselben.

Theor. 27. Wenn die Entfernung der beiden Augen gröfser ist, als der Durchmesser der Kugel, so wird man mehr, als ihre Hälfte sehen.

Theor. 28. Wenn die Entfernung der beiden Augen

kleiner ist, als der Durchmesser einer Kugel, so wird man weniger, als ihre Hälfte sehen.

Theor. 29. Wenn ein Cylinder nur mit einem Auge betrachtet wird, so sieht man stets weniger, als seine Hälfte.

Theor. 30. Je mehr sich das Auge einem Cylinder nähert, desto weniger sieht man von demselben. Man glaubt aber mehr zu sehen.

Theor. 31. und 32. enthalten die beiden vorigen Theoreme, auf den Kegel angewendet.

Theor. 33. Wenn man von dem Auge zwei Tangenten an die Peripherie der Grundfläche eines Kegels, und aus den Berührungspunkten durch die Oberfläche desselben gerade Linien nach seiner Spitze zieht, durch diese Linien aber und durch jene Tangenten Ebenen legt, in deren gemeinschaftlichem Durchschnitte sich das Auge befindet, so sieht man in jedem Punkte dieses Durchschnittes gleichviel vom Kegel.

Theor. 34. Ein Auge, das sich in einer geraden Linie, die stets gleich weit von einem Kegel entfernt bleibt, bewegt, sieht, wenn es höher steht, ein kleineres Stück des Kegels; wenn es niedriger steht, ein gröfseres.

Theor. 35. Wenn man in dem Mittelpunkte eines Kreises eine Linie winkelrecht gegen seine Ebene errichtet, und das Auge in einen Punkt dieser Linie bringt, so erscheinen alle Durchmesser des Kreises gleich.

Theor. 36. Wenn die in dem Mittelpunkte eines Kreises errichtete Linie nicht winkelrecht auf seiner Ebene steht, dieselbe aber dem Halbmesser gleich ist, so erscheinen die Durchmesser gleich.

Theor. 37. Wenn die aus dem Auge nach dem Mit-

telpunkte eines Kreises gezogene Linie schräge auf seiner Ebene steht, und dem Halbmesser nicht gleich ist, auch nicht die Winkel, welche sie mit einem Durchmesser einschliefst, einzeln verglichen, denen gleich sind, die sie mit einem anderen bildet, so werden die Durchmesser ungleich erscheinen.

Theor. 38. Wenn die aus dem Auge nach dem Mittelpunkte eines Kreises gezogene Linie ungleiche Winkel mit den verschiedenen Durchmessern bildet, und nicht winkelrecht auf der Ebene des Kreises steht, aber gröfser ist, als der Halbmesser, so werden die Durchmesser ungleich erscheinen, und zwar wird derjenige der gröfsere sein, auf welchem der aus dem Auge nach dem Mittelpunkte gehende Stral winkelrecht steht.

Theor. 39. Ist die im vorigen Satze bestimmte Linie kleiner, als der Halbmesser, so wird das Gegentheil des Vorigen bei den Durchmessern Statt finden. Der vorher gröfser schien, wird nun kleiner erscheinen, und der kleinere jetzt gröfser.

Theor. 40. Die Räder der Wagen werden bald kreisförmig, bald verzogen (παρεσπασμένοι) erscheinen.

Der Beweis wird aus den Sätzen 36. und 39. geführt.

Theor. 41. Wenn ein Gegenstand winkelrecht auf einer Ebene steht, und das Auge sich in irgend einem Punkte dieser Ebene befindet, um welchen, wie um den Mittelpunkt eines Kreises, sich der Gegenstand bewegt, so wird er stets von gleicher Gröfse erscheinen.

Theor. 42. Wenn ein Gegenstand winkelrecht auf einer Ebene steht, und das Auge sich in der Peripherie eines Kreises, dessen Mittelpunkt der Ge-

genstand einnimmt, bewegt, so wird er stets von gleicher Gröfse gesehen werden.

Theor. 43. Wenn ein Gegenstand schräge auf einer Ebene steht, und sich in der Peripherie eines Kreises, in dessen Mittelpunkt das Auge ist, bewegt, so wird er stets ungleich erscheinen.

Theor. 44. Es giebt einen Ort, an welchem ein sich bewegender Gegenstand stets gleich grofs erscheint.

Theor. 45. Es giebt einen Ort, an welchem ein Gegenstand dem sich bewegenden Auge stets gleich grofs erscheint.

Euklides nimmt das Auge in verschiedenen Punkten der Peripherie eines Kreises, und den Gegenstand als eine konstante Chorde an.

Theor. 46. Es giebt einen Ort, wo, wenn das Auge an denselben versetzt wird, der Gegenstand aber an derselben Stelle bleibt, letzterer ungleich erscheint.

Der Sinn dieses Satzes ist folgender: Man trage in einen Kreis den Gegenstand $K\Delta$ als eine Chorde ein, die von einem Punkte Σ der Peripherie unter dem Winkel $K\Sigma\Delta$ gesehen wird. Verlängert man den Schenkel $K\Sigma$ über Σ hinaus, und zieht aus dem Punkte B der Verlängerung eine Linie nach dem Endpunkte Δ der Chorde, so dafs der entstehende Winkel der innere des äufseren Peripherie-Winkels wird, so erscheint der Gegenstand in B kleiner, als in der Peripherie.

Theor. 47. Dasselbe wird sich ereignen, wenn die Linie, auf der sich das Auge befindet, dem Gegenstande parallel ist.

Theor. 48. Es giebt einen gemeinsamen Ort, wo gleiche Gegenstände ungleich erscheinen.

Euklides theilt eine Linie $B\Delta$ in die gleichen Theile $B\Gamma$ und $\Gamma\Delta$, beschreibt über $B\Gamma$ einen Halb-

kreis, über $\Gamma\Delta$ ein Segment eines gröſseren Kreises, welches den Halbkreis in Z schneidet, und versetzt das Auge nach Z.

Theor. 49. Es giebt einen gemeinsamen Ort, an welchem ungleiche Gröſsen gleich erscheinen.

Theor. 50. Es giebt gewisse Stellen, an denen ein Gegenstand, der aus zwei ungleichen, an einander gesetzten besteht, jedem der ungleichen gleich erscheint.

Die beiden ungleichen Gröſsen sein, die gröſsere $B\Gamma$, die kleinere $\Gamma\Delta$, und um jede, so wie um ihre Summe $B\Delta$, werden die Halbkreise $BK\Gamma$, $\Gamma Z\Delta$, $BA\Delta$ beschrieben. Nun ist der Winkel $BA\Delta$ gleich dem Winkel $BK\Gamma$, gleich dem Winkel $\Gamma Z\Delta$ u. s. w.

51. Aufgabe. Die Stellen zu finden, an denen eine und dieselbe Gröſse um die Hälfte, oder um den vierten Theil, oder überhaupt in einem gegebenen Verhältnisse, nach welchem der Winkel getheilt wird, kleiner erscheint.

Diese Aufgabe löset **Euklides** mit Hilfe des Problems, über einer gegebenen Chorde ein Segment, das einen gegebenen Peripherie-Winkel enthält, zu beschreiben.

Theor. 52. Wenn sich mehrere, auf derselben geraden Linie in der Nähe des Auges befindliche Gegenstände mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, so wird der letzte den übrigen voranzueilen scheinen; ändern sie aber ihre Lage, so wird der vorhin voraneilende nachzufolgen, der vorhin nachfolgende voranzueilen scheinen.

Im Texte steht: *τῶν ἴσῳ τάχει φερομένων καὶ ἐπὶ τῆς αὐτῆς εὐθείας ὄντων πλησίον πρὸς τὸ ὄμμα, τὸ τελευταῖον προηγεῖσθαι δόξει· παραλλαξάντων δὲ, τὸ μὲν προηγούμενον ἐπακολουθεῖν, τὸ δ' ἐπακολουθοῦν*

προηγεῖσθαι δόξει. Jedenfalls ist der Satz nicht bestimmt genug angegeben. Aus dem Beweise aber geht hervor, dafs Euklides Folgendes sagen wolle: Wenn mehrere Gegenstände, die sich auf derselben geraden Linie in gleicher Entfernung von einer durch das Auge gehenden Vertikal-Ebene befinden, sich mit gleicher Geschwindigkeit von der Linken zur Rechten bewegen, so wird auf der linken Seite jener Ebene der vom Auge entfernteste allen übrigen voranzueilen, und der nächste hinter ihnen zurückzubleiben scheinen.

Theor. 53. Wenn sich mehrere Gröfsen mit ungleicher Geschwindigkeit in derselben Richtung mit dem Auge bewegen, so scheinen diejenigen, die gleiche Geschwindigkeit mit dem Auge haben, still zu stehen; die sich langsamer bewegen, scheinen nach der entgegengesetzten Richtung zu gehen; die aber schneller, scheinen voranzueilen.

Theor. 54. Wenn unter mehreren, sich nach derselben Richtung bewegenden Gegenständen einer still steht, so scheint sich dieser ruhende nach der entgegengesetzten Richtung zu bewegen.

Theor. 55. Einem Auge, das sich einem Gegenstande nähert, scheint letzterer gröfser zu werden.

Theor. 56. Wenn sich gleich mehrere Gegenstände mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, so scheint doch die Bewegung der entfernteren langsamer zu sein.

Theor. 57. Wenn das Auge sich vorbeibewegt, so scheinen die entfernteren Gegenstände zurückzubleiben.

Theor. 58. Gegenstände, die sich vergröfsern, scheinen dem Auge näher zu kommen.

Theor. 59. Was in ungleicher Entfernung vom Auge

liegt, und wo weder die an den Enden befindlichen Stellen einander parallel, noch die in der Mitte befindlichen auf derselben geraden Linie liegen, bildet bald eine hohle, bald eine erhabene Figur.

In Theor. 60. und 61. sind die beiden Sätze, welche in 35. und 37. vom Kreise bewiesen wurden, auf das Quadrat angewendet.

Die Katoptrik des Euklides.

Auch diese Schrift hat man, wie schon gesagt, für unächt erklärt. Mehreren Sätzen fehlen allerdings die zu ihrer Wahrheit nöthigen näheren Bestimmungen, auch finden sich hier der völlig unrichtigen Behauptungen noch weit mehr, als in der Optik. Wie dem aber auch sei, so bleibt sie jedenfalls ein unschätzbarer Ueberrest des Alterthums, in welchem wir zum ersten Male die Mathematik zur Ermittelung der Gesetze, nach denen das Licht von den Spiegeln zurückgeworfen wird, angewendet finden.

Euklides gründet seine Katoptrik auf folgende sieben Sätze, die er als Thatsachen, durch die Erfahrung gegeben, aufstellt:

1) Der Lichtstral ist eine gerade Linie, deren Endpunkte alle dazwischen gelegene Punkte decken.

2) Jeder sichtbare Gegenstand wird in gerader Richtung gesehen.

3) Wird ein Spiegel auf eine Horizontal-Ebene gelegt, auf welcher ein Gegenstand vertikal steht, so findet dasselbe Verhältniſs, welches der Gegenstand und die Höhe des Auges gegen einander haben, auch zwischen den Linien Statt, die zwischen dem Auge und dem Spiegel, und zwischen dem Gegenstande und dem Spiegel gezogen werden.

4) Wenn bei ebenen Spiegeln die Stelle (vom

Auge) eingenommen wird, auf welche die von dem Gegenstande nach dem Spiegel gezogene Winkelrechte fällt, so wird der Gegenstand (im Spiegel) nicht gesehen.

5) Wenn bei erhabenen Spiegeln die Stelle vom Auge eingenommen ist, welche von der geraden Linie, die durch den Gegenstand und den Mittelpunkt der Kugel (von welcher der Spiegel ein Segment ist) geht, getroffen wird, so ist der Gegenstand nicht sichtbar.

6) Dasselbe findet bei Hohlspiegeln Statt.

7) Wenn etwas in ein Gefäfs geworfen, und letzteres so weit entfernt wird, bis das Hineingeworfene nicht mehr gesehen werden kann, so wird es in derselben Entfernung sichtbar, wenn man Wasser in das Gefäfs giefst.

Auf diese Sätze gründet nun Euklides folgende Theoreme:

Theor. 1. Von ebenen, erhabenen und hohlen Spiegeln werden die Stralen unter gleichen Winkeln zurückgeworfen.

Den Beweis leitet Euklides aus dem Erfahrungssatze 3) her.

Theor. 2. Wenn ein Stral auf einen Spiegel unter gleichen Nebenwinkeln fällt, so wird er in sich selbst zurückgeworfen.

Theor. 3. Wenn ein Stral unter ungleichen Winkeln auf einen Spiegel fällt, so wird er weder in sich selbst zurückgeworfen, noch nach dem kleineren Winkel hin (unter dem er auffällt).

Theor. 4. Die Stralen, welche von ebenen und erhabenen Spiegeln zurückgeworfen werden, können weder einander schneiden, noch parallel sein.

Theor. 5. Wenn man das Auge entweder in den Mittelpunkt eines Hohlspiegels, oder in die Peri-

pherie, oder aufserhalb derselben, d. h. zwischen den Mittelpunkt und die Peripherie stellt, so schneiden sich die zurückgeworfenen Stralen.

Theor. 6. Wenn das Auge zwischen den Mittelpunkt und die Peripherie eines Hohlspiegels gestellt wird, so werden sich die zurückgeworfenen Stralen zuweilen schneiden, zuweilen aber nicht.

Dieser Satz kommt mit der bekannten Wirkung der Hohlspiegel überein, dafs die zurückgeworfenen Stralen divergiren, und ein geometrisches Bild geben, wenn sich der Gegenstand zwischen dem Spiegel und seinem Brennpunkte befindet, dafs aber die reflektirten Stralen konvergiren, und ein physisches Bild hervorbringen, wenn der Gegenstand aufserhalb der Brennweite steht.

Theor. 7. Höhen und Tiefen erscheinen in ebenen Spiegeln verkehrt.

Unter einer Höhe versteht Euklides ein Loth auf dem horizontalen Spiegel, unter einer Tiefe dasselbe, wenn die polirte Fläche unterwärts gekehrt ist.

Theor. 8. Höhen und Tiefen erscheinen in erhabenen Spiegeln verkehrt.

Theor. 9. Gegenstände, die einem ebenen Spiegel zur Seite liegen, erscheinen in der Lage, welche sie wirklich haben.

Im Texte sind die Gegenstände τὰ πλάγια μήκη genannt, im Gegensatze der Höhen und Tiefen, so dafs man hierunter besonders die den Spiegeln seitwärts gelegenen, ihnen parallelen Gegenstände verstehen mufs.

Theor. 10. Gegenstände, die einem erhabenen Spiegel zur Seite (und demselben parallel) liegen, erscheinen in der Lage, welche sie wirklich haben.

Theor. 11. In Hohlspiegeln erscheinen Höhen und

Tiefen, die innerhalb des Durchschnittspunktes der reflektirten Stralen liegen, umgekehrt, wie in ebenen und erhabenen Spiegeln; die aber aufserhalb jenes Punktes liegen, erscheinen in der Lage, welche sie wirklich haben.

Euklides nimmt das Auge zur Seite des Spiegels an, und zieht zwei aus demselben ausgehende Stralen so, dafs sie sich nach der Reflexion in einem Punkte schneiden. Dies ist der im Satze genannte Durchschnittspunkt. Er zieht hierauf zwei Halbmesser des Spiegels auf verschiedenen Seiten dieses Durchschnittspunktes. Die zwischen den reflektirten Stralen gelegenen Stücke dieser Halbmesser sollen die im Satze angegebenen Höhen sein.

Theor. 12. Gegenstände, die winkelrecht gegen die Achse der Hohlspiegel stehn (τὰ πλάγια μήκη), erscheinen, wenn sie innerhalb des Durchschnittspunktes der Stralen stehen, in der Lage, welche sie wirklich haben; stehen sie aber aufserhalb jenes Punktes, so erscheinen sie umgekehrt.

Theor. 13. Dieselbe Sache kann durch mehrere Spiegel gesehn werden.

Theor. 14. Es ist möglich, dieselbe Sache durch beliebig viele ebene Spiegel zu sehen; man mufs hierzu ein reguläres Polygon beschreiben, das zwei Seiten mehr hat, als die Anzahl der Spiegel betragen soll.

Euklides beschreibt innerhalb eines Kreises ein reguläres Fünfeck, und legt durch drei Winkelspitzen desselben Tangenten, in deren Richtung die Spiegel angebracht werden sollen; den Gegenstand setzt er in die vierte Winkelspitze, und das Auge in die fünfte.

Theor. 15. Es ist möglich, dieselbe Sache durch beliebig viele konvexe oder konkave Spiegel zu sehn.

Theor. 16. In ebenen Spiegeln wird der Gegenstand in der Winkelrechten, die von demselben auf den Spiegel gefällt ist, gesehn.

Theor. 17. In erhabenen Spiegeln wird der Gegenstand in der geraden Linie, die von demselben nach dem Mittelpunkte der Kugel (von welcher der Spiegel ein Segment ist) gezogen wird, gesehn.

Theor. 18. In Hohlspiegeln wird jeder Gegenstand in der geraden Linie, die von demselben nach dem Mittelpunkte der Kugel gezogen ist, gesehn.

Theor. 19. In ebenen Spiegeln erscheint das beim Gegenstande zur Linken Gelegene rechts, und das zur Rechten Gelegene links; auch ist der Gegenstand und sein Bild gleich weit vom Spiegel entfernt.

Theor. 20. In erhabenen Spiegeln erscheint das beim Gegenstande zur Linken Gelegene rechts, und das zur Rechten Gelegene links; das Bild ist aber dem Spiegel näher, als der Gegenstand.

Theor. 21. In erhabenen Spiegeln ist das Bild kleiner, als der Gegenstand.

Theor. 22. In kleineren erhabenen Spiegeln erscheinen die Bilder kleiner.

Theor. 23. In erhabenen Spiegeln erscheinen die Bilder gerader Gegenstände erhaben.

Dieser Satz hat allerdings seine Richtigkeit, der von Euklides gegebene Beweis ist aber unrichtig. Er hält nämlich diese Erscheinung für eine optische Täuschung, die daher entstehe, dafs die vom Auge ausgehenden, und vom Spiegel nach der Mitte des Gegenstandes reflektirten Stralen kürzer sind, als die nach dem Rande reflektirten [1]).

1) Dafs sowohl in Sammel- als auch in Zerstreuungsspiegeln die Bilder gröfserer gerader Gegenstände nicht unmerklich von

Theor. 24. Wenn das Auge bei Hohlspiegeln in den Mittelpunkt der Kugel versetzt wird, so sieht es nur sich selbst.

Da das Bild des Auges in diesem Falle in dasselbe zurückfällt, von ihm also nicht gesehen werden kann, so ist dieser Satz, wie schon mehrere andere, ganz unrichtig.

der geraden Richtung abweichen müssen, ergiebt sich aus folgender Rechnung. Es sei AG die Achse eines Hohlspiegels, in C der geometrische Mittelpunkt desselben, und Gg ein aufserhalb der Brennweite befindlicher, senkrecht auf der Achse stehender Gegenstand. Die durch g und C gezogene Linie treffe den Spiegel in B. So wie das Bild des Punktes G in einem Punkte H der Linie AC liegt, eben so mufs auch das Bild des Punktes g in einem Punkte h der Linie BC gelegen sein. Es kommt nunmehr darauf an, den Zug der Linie, durch welche die Punkte H und h zu verbinden sind, welche Linie das Bild des Gegenstandes Gg sein würde, zu bestimmen. Der Anfangspunkt der Abscissen für die Linie Hh werde in C angenommen, und der Koordinaten-Winkel sei ein rechter. Noch werde CA mit r, Gg mit m, und CG mit n bezeichnet. Für die Vereinigungsweite Bh hat man bekanntlich den Werth $\frac{r \cdot Bg}{2 \cdot Bg - r}$, woraus sich $Bg = \frac{r \cdot Bh}{2 \cdot Bh - r} = \frac{r\,(r - hC)}{r - 2 \cdot hC}$ ergiebt. Da nun $m = \frac{n \cdot y}{x}$, so ist $Cg = \frac{n}{x}\,(x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} = \frac{n}{x} \cdot hC$, und $Bg = r + Cg = r + \frac{n \cdot hC}{x} = \frac{r\,(r - hC)}{r - 2 \cdot hC}$, woraus $n = \frac{rx}{r - 2 \cdot hC} = \frac{rx}{r - 2\,(x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}}$, und $y^2 = \frac{r^2}{4} - \frac{r^2 x}{2n} + \frac{(r^2 - 4n^2)\,x^2}{4n^2}$.

In einem Sammelspiegel ist also das Bild nach einem Hyperbel-Bogen gekrümmt, wenn $r > 2n$, nach einem elliptischen, wenn $r < 2n$, nach einem Parabel-Bogen, wenn $r = 2n$, und nach einem Kreisbogen, dessen Halbmesser $\frac{r}{2}$ ist, wenn $n = \infty$, indem die Gleichung in diesem Falle die Form $y^2 = \frac{r^2}{4} - x^2$ erhält. Der Gegenstand ist nämlich im letzten Falle in unendlicher Entfernung vom Spiegel, und defshalb liegt sein Bild im Brennpunkte. Bei einem Zerstreuungsspiegel, für den r negativ ist, bleibt die Gleichung ungeändert.

Theor. 25. Wenn das Auge in die Peripherie eines Hohlspiegels, oder aufserhalb derselben versetzt wird, so wird es sich selbst nicht sehn können.

Theor. 26. Wenn man durch den Mittelpunkt eines Hohlspiegels einen Durchmesser zieht, der winkelrecht auf der Achse steht, und das Auge auf die eine oder die andere Seite der Achse stellt, so wird man nichts von dem sehn, was auf derselben Seite mit dem Auge liegt.

Unter dem Durchmesser ist hier und in den folgenden Sätzen immer eine Linie, die in dem geometrischen Mittelpunkte des Spiegels winkelrecht auf der Achse steht, und bis zur erweiterten Peripherie des Spiegels gezogen wird, zu verstehen.

Theor. 27. Wenn die Augen so in den Durchmesser eines Hohlspiegels gestellt werden, dafs beide gleich weit von dem Mittelpunkte entfernt sind, so wird keins der Augen gesehen werden.

Das Bild des einen Auges fällt nämlich in diesem Falle in das andere.

Theor. 28. Wenn man den Theil der Achse, der zwischen dem Spiegel und dem Mittelpunkte seiner Kugel liegt, halbirt, im Halbirungspunkte ein Loth errichtet, und die Augen in dieses Loth so bringt, dafs sie gleich weit von der Achse entfernt sind, so wird keins der Augen gesehen werden, sie mögen zwischen diesem Lothe und dem Durchmesser, oder in dem Lothe selbst angenommen werden.

Im ersten Falle, wenn die Augen zwischen dem Lothe und dem Durchmesser angenommen werden, fällt das Bild des einen Auges hinter das andere; im anderen nimmt **Euklides** die Augen im Brennpunkte des Hohlspiegels an.

Theor. 29. Wenn die Augen aufserhalb des Durch-

messers angenommen werden, so erscheint das rechts Gelegene rechts, das links Gelegene links, auch ist das Bild kleiner, als das Gesicht selbst, und zwischen dem Gesichte und dem Spiegel gelegen.

Theor. 30. Es kann ein Spiegel aus ebenen, erhabenen und hohlen so zusammengesetzt werden, daſs in ihm mehrere Bilder des Gesichts erscheinen, theils gröſsere, theils kleinere, theils nähere, theils entferntere, und so, daſs das rechts Gelegene zur Rechten, das links Gelegene zur Linken sichtbar ist.

Theor. 31. Von Hohlspiegeln, welche gegen die Sonne gehalten werden, wird Feuer angezündet.

Im Beweise wird gezeigt, daſs die Entzündung entweder an einer Stelle zwischen dem Mittelpunkte und dem Spiegel, oder im Mittelpunkte selbst erfolgen werde. Obgleich man glauben sollte, daſs die einfachste Zeichnung hingereicht haben müſste, die Unrichtigkeit dieser Behauptung einzusehn, so finden wir dennoch, wie schon gesagt, denselben Irrthum bei dem groſsen Kepler [1]), ungeachtet damals schon lange vorher das wahre Verhältniſs der Sache entdeckt war. Wir dürfen hieraus entnehmen, wie schwer es gewesen sei, selbst die ersten Elemente der Optik zu begründen, und wie vorsichtig wir in unserem Urtheile über die Aechtheit einer physikalischen Schrift des Alterthums sein müssen. Ich komme daher auf meine obige Behauptung zurück, daſs man einiger

1) In einem der mit Brengger gewechselten Briefe, in dem 132sten in der Ausgabe von Hansch. Es heiſst hier: *Fefellit te Maginus cum suo speculo, qui ex Joanne Baptista Porta verba nonnulla mutuatus, quae erant de concavo, non sphaerico, sed parabolico dicta, perperam ad suum sphaericum accommodat, quod incendat in quarta diametri.*

Fehler wegen, welche diese Optik enthält, keinesweges berechtigt sei, an ihrer Aechtheit zu zweifeln, dafs man vielmehr die für die damalige Zeit in der That bewundernswerthe Klarheit, mit welcher die Hauptsätze der Spiegellehre, besonders was den Ort und die Lage der Bilder betrifft, hier entwickelt sind, anzuerkennen habe. Sätze freilich, wie das 59ste Theorem der Optik, die Erfahrungssätze 4. 5. 6. der Katoptrik, und namentlich der Erfahrungssatz 7., der gar nicht dahin gehört, und in der Abhandlung selbst nicht gebraucht wird, das 24ste, 25ste, 26ste Theorem der Katoptrik, und mehrere ähnliche, können leicht durch Kommentatoren hinzugefügt sein.

Von den Brennspiegeln des Archimedes.

Die Römische Flotte vor Syrakus ist höchst wahrscheinlich nicht durch Brennspiegel zerstört worden, weil 1) Polybius, beinahe ein Zeitgenosse des Archimedes, der die Belagerung von Syrakus ausführlich beschreibt, nichts hierüber anführt, auch Livius und Plutarch davon schweigen; 2) in der frühesten, auf uns gekommenen, und diesen Gegenstand berührenden Quelle keineswegés von Brennspiegeln, sondern nur von künstlichem Feuer die Rede ist; 3) weil es unmöglich ist, mit einem einzigen Hohlspiegel auf gröfsere Entfernungen zu zünden, und es immer, so lange nicht unleugbare Thatsachen dafür sprechen, sehr unwahrscheinlich bleiben wird, dafs Archimedes Spiegel von solcher Konstruktion, wie sie zuerst Anthemius angab, nicht blofs in Gedanken entworfen, sondern auch zu Stande gebracht habe; 4) weil diese Spiegel, selbst wenn Archimedes sie gekannt hätte, das unsicherste und unzweckmäfsigste Vertheidigungsmittel sind, dessen sich

ein vom Feinde hart bedrängter Belagerter bedienen kann, indem die Entzündung auch nur einer Stelle mehrere Stunden erfordert, und dem Feinde Zeit genug übrig läfst, sein Heil in der Flucht zu suchen; weil endlich 5) mehrere ähnliche, die Optik betreffende Gerüchte, deren Ungereimtheit auf den ersten Blick einleuchtet, im Mittelalter allgemein geglaubt wurden.

Das letzte Theorem der Euklideischen Katoptrik führt mich auf eine der interessantesten Untersuchungen in der Geschichte der Griechischen Optik, auf die Frage nämlich, in wie weit den Nachrichten, welche man von den Brennspiegeln des Archimedes erzählt, Glauben beizumessen sei. Eine genaue Untersuchung des geschichtlichen Fundaments, verbunden mit dem, was die Theorie und Erfahrung unserer Tage über diesen Gegenstand lehren, kann allein zur Entscheidung dieser so oft angeregten, und so oft in entgegengesetztem Sinne beantworteten Frage führen [1]).

1) Unter den vielen Vertheidigern der Wahrheit jener, die Brennspiegel des Archimedes betreffenden Sagen, nenne ich besonders: *Jo. Georg. Liebknecht diatribe academica de speculis causticis. Jenae*, 1704. Ferner *Segner de speculis Archimedeis tentamen. Jenae*, 1732. Ferner *Lettre sur les miroirs ardens par L. Dutens*, im *Journ. encyclop Août* 1771. pag. 116—121. Endlich aus der neuesten Zeit: die Preisschrift des Joh. Pet. van Capelle, übersetzt in Gilbert's Annalen, Bd. 53. S. 242. u. d. f. Van Capelle, der, gestützt auf die Nachrichten, welche ich gleich anführen werde, es für sehr wahrscheinlich hält, dafs Archimedes nicht blofs Maschinen, sondern auch Brennspiegel gegen die Römische Flotte gerichtet habe, ohne ihr jedoch durch letztere bedeutenden Schaden zufügen zu können, weil die glaubwürdigsten Geschichtschreiber hierüber nichts berichten, setzt voraus, dafs Archimedes sich solcher Spiegel, wie sie Anthemius angab, bedient habe; eine Voraussetzung, die defshalb immer sehr unwahrscheinlich bleiben wird, weil eine solche Erfindung nicht mit Archimedes zugleich auf Jahrhunderte untergegangen

Die frühesten, uns erhaltenen Nachrichten hierüber finden wir im Hippias des Lucian [1]), und in einer Schrift des Galen. Lucian behauptet aber keinesweges, dafs Archimedes die Flotte durch Brennspiegel zerstört, sondern nur, dafs er sie durch künstliche Mittel verbrannt habe. Auch in der Stelle bei Galen wird nicht entschieden von Brennspiegeln gesprochen. Die Werkzeuge, mit denen die Flotte vermuthlich entzündet sei, werden πυρία [2]), Zündwerkzeuge, genannt; doch ist es wahrscheinlich, dafs Galen hierunter nichts anderes, als Brennspiegel verstanden habe, weil er kurz vorher von der Eigenschaft der Sonnenstralen, mit Harz bestrichenes Holz entzünden zu können, spricht, und hinzufügt, dafs man mit eben diesem Werkzeuge auch Wolle, einen Docht, und überhaupt alles, was auf ähnliche Weise trocken und schwammicht ist, leicht entflammen könne.

sein würde. Auch ist ja überhaupt gar nicht die Rede von einem vergeblichen Versuche des Archimedes, den feindlichen Schiffen durch Brennspiegel Schaden zuzufügen, sondern von der Zerstörung der Flotte. — Zweifel gegen die Wahrheit jener Sagen sind unter anderen erhoben von Joh. Christ. Bischof in der Schrift: „Ob Archimedes die Römische Flotte durch Brennspiegel verbrannt habe.“ Stettin, 1758. Auch J. Fr. Facius in seiner Einladungsschrift zum Stiftungsfeste des Gymnasiums in Koburg vom Jahre 1801. ist der Meinung, dafs wahrscheinlich die Brennspiegel des Proklus jene Sagen vom Archimedes veranlafst hätten, dafs aber dieser allerdings versucht haben könne, die Römische Flotte auf irgend eine andere Weise in Brand zu stecken.

1) In der Ausgabe von Hemsterhuis und Reitz, tom. VII, pag. 295. Lucian ist zu Samosata in Syrien um das Jahr 110. n. Chr. geb., und um das J. 200. gest. Er nennt in jener Stelle den Archimedes τὸν τὰς τῶν πολεμίων τριήρεις καταφλέξαντα τῇ τέχνῃ.

2) *De temperamentis*, lib. III, cap. 2. Galen ist um das Jahr 130. n. Chr. zu Pergamus in Kleinasien geb. Die betreffende Stelle heifst so: οὕτω δή πως, οἶμαι, καὶ τὸν Ἀρχιμήδην φασὶ διὰ τῶν πυρίων ἐμπρῆσαι τὰς τῶν πολεμίων τριήρεις.

Die erste bestimmte Nachricht, dafs die Flotte unter Marcellus durch Brennspiegel vernichtet sei, giebt Anthemius, der aber erst zur Zeit des Kaisers Justinian I. in der Mitte des sechsten Jahrhunderts n. Chr. lebte [1]), in seinen „Mechanischen Paradoxen", von denen uns ein Fragment erhalten ist, das sich, aus vier Manuscripten durch Dupuy verglichen, im 42sten Bande der *Histoire de l'académie royale des inscriptions*, pag. 400. et sqq., befindet.

Diese Schrift enthält vier Probleme, von denen aber das erste: „An einen gegebenen Ort zu jeder Stunde und Jahreszeit einen unveränderlichen (*ἀμετακίνητον*) Sonnenstral einfallen zu lassen", mit der vorliegenden Untersuchung nichts gemein hat.

In dem zweiten Probleme: „Eine Maschine zu konstruiren, welche bis an einen gegebenen Ort, der bis auf die Schufsweite eines Bogens entfernt ist, mittelst der Sonnenstralen zu zünden vermag", bezweifelt Anthemius die Ausführbarkeit eines solchen Unternehmens, sobald man sich nur eines einzigen Spiegels bedienen wollte, theils, weil alsdann die Sonne, der anzuzündende Gegenstand und der Spiegel immer in einer geraden Linie sein müfsten, theils auch, weil die Gröfse des Spiegels von der Entfernung, in welcher die Entzündung erfolgen soll, abhängig sei. „Um jedoch", so fährt er fort, „den Ruhm des Archimedes, der, nach dem einstimmigen Urtheile Aller, die feindlichen Schiffe mittelst der Sonnenstralen verbrannte, nicht zu schmälern, so

1) Procop (*De aedif. Justin.*, lib. I, cap. 1.) sagt von ihm: *Ἀνθέμιος ὁ Τραλλιανὸς, ἐπὶ σοφίᾳ τῇ καλουμένῃ μηχανικῇ λογιώτατος οὐ τῶν κατ' αὐτὸν μόνον ἁπάντων, ἀλλὰ τῶν αὐτοῦ προγενομένων πολλῷ* etc.

dürfen wir die Ausführbarkeit des Problems nicht völlig bezweifeln. Was mich betrifft, so will ich, der ich die Sache mit der gröfsten Sorgfalt erwogen habe, meine Gedanken über eine solche Maschine mittheilen."

Es folgt alsdann die Aufgabe: Einen ebenen Spiegel so zu stellen, dafs, in welcher Richtung auch ein Sonnenstral nach einem gegebenen Punkte desselben einfallen mag, dieser Stral nach einem anderen, gleichfalls gegebenen Punkte reflektirt werde. Anthemius giebt die bekannte Auflösung dieses Problems. Es sei, sagt er, A der gegebene Punkt des Spiegels, und BA ein beliebiger Stral. Man ziehe aus A nach dem anderen gegebenen Punkte Γ eine Linie, halbire den Winkel $BA\Gamma$ durch die Linie $A\Delta$, und stelle den Spiegel so, dafs $A\Delta$ winkelrecht auf demselben steht.

Anthemius beschreibt hierauf einen Spiegel, von dem er glaubt, dafs er auf gröfsere Abstände zünden, und in seiner Konstruktion mit den Brennspiegeln des Archimedes übereinstimmen müsse, wenn anders die über diesen verbreitete Sage wirklich begründet sein sollte. Er schlägt nämlich vor, mehrere ebene Spiegel von gleicher Gröfse, in Gestalt regulärer Sechsecke, so zusammenzusetzen, dafs je zwei Seiten ihrer Länge nach an einander stofsen, die kleinen Durchmesser jeder zwei Spiegel also in demselben Punkte zusammentreffen, und dafs sich die Spiegel durch Scharniere, die rückwärts angebracht sind, in jede beliebige Stellung bringen lassen. Indem man so den übrigen Spiegeln die erforderliche Neigung gegen den mittleren giebt, wird man die von allen reflektirten Stralen an einer Stelle vereinigen, und hierdurch die Entzündung eines leicht brennen-

den Gegenstandes bewirken können. Da er in diesem Probleme auch behauptet, dafs mindestens vier und zwanzig zurückgeworfene Stralen, also vier und zwanzig Spiegel zur Ansteckung eines leicht entzündlichen Gegenstandes erfordert würden, so scheint es fast, als habe er die Wirkung solcher Spiegel aus der Erfahrung gekannt.

Gegen das Ende des Fragmentes zeigt Anthemius, nach welchem Kegelschnitte ein Brennspiegel konstruirt werden müsse. Es sind aber nur wenige Zeilen der Auflösung vorhanden, und der Beweis ist auch nicht vollendet.

Viel später sind die Nachrichten, welche hierüber durch Zonaras, Tzetzes und Eustathius, die im zwölften Jahrhunderte lebten, mitgetheilt werden. „Marcellus würde sich der Stadt Syrakus", erzählt Zonaras [1]), „deren Mauern zu Wasser und zu Lande angegriffen wurden, sehr leicht bemächtigt haben, wenn ihm nicht die Maschinen des Archimedes Widerstand geleistet hätten. Denn dieser warf nicht nur Steine auf die Römischen Schiffe, sondern er zog sie selbst mittelst seiner Maschinen in die Höhe, liefs sie dann plötzlich in das Meer fallen, und versenkte sie so. Endlich aber verbrannte er auf eine bewunderungswürdige Weise die ganze Flotte der Römer; denn indem er einen Spiegel gegen die Sonne hielt, und die Sonnenstralen mit demselben auffing, entzündete er wegen der Dichtigkeit und Politur des Spiegels durch diese die Luft, erregte eine grofse Hitze, warf diese auf die Schiffe, und verbrannte sie alle."

Derselbe Zonaras berichtet [2]), dafs unter der

1) In der Baseler Ausgabe 1557. *Annal.*, tom. II, pag. 83.
2) *Annal.*, tom. III, pag. 46.

Regierung des Kaisers Anastasius (491. bis 518.) der Feldherr Vitalianus, der sich mit den Mysiern und Scythen verband, einen Aufruhr erregt, auf dem Byzantinischen Gebiete Beute gemacht, und endlich Konstantinopel mit einer Flotte belagert habe. Diese sei aber durch Proklus, der nicht nur die Maschinen des Archimedes gekannt, sondern auch neue erfunden habe, zerstört worden. Proklus habe nämlich Brennspiegel (*κάτοπτρα πυροφόρα*) aus Erz verfertigt, und sie an der Mauer, den feindlichen Schiffen gegenüber, aufgehängt. Da die Sonnenstralen auf diese fielen, habe das gleich dem Blitze hervorbrechende Feuer die Schiffe der Feinde verbrannt, was einst auch, wie Dio erzählt, Archimedes that, als die Römer Syrakus belagerten.

Uebereinstimmend mit diesen Nachrichten erwähnt auch Tzetzes [1]), dafs Archimedes die Flotte des Marcellus durch Brennspiegel vernichtet habe. Er beruft sich besonders auf das Zeugnifs des Anthemius, und aufser diesem auf den Diodorus, Dio, Heron, Philo und Pappus [2]). Auf das Zeugnifs des Diodorus [3]), als das früheste, da hier ohne Zweifel ein jüngerer Heron, und wahrscheinlich der unter dem Kaiser Heraklius im siebenten Jahrhunderte lebende gemeint ist, weil ihn Tzetzes nach dem Diodorus und Dio Cassius nennt, würde besonders viel ankommen; in den uns erhaltenen Werken dieser Schriftsteller sind aber die diesen Gegenstand betreffenden Nachrichten nicht vorhanden. Was übrigens Tzetzes in der schon angeführten Stelle (*Chil.*, II, 119. sqq.) von der Einrich-

1) *Chil.*, II, 119. sqq. *Chil.*, IV, 505. *Chil.*, XI, 596.
2) *Chil.*, II, 149. sqq.
3) Er lebte zur Zeit des Augustus.

tung des Spiegels, durch welchen die Flotte verbrannt sei, mittheilt, ist offenbar nur aus einem Mifsverständnisse dessen, was Anthemius hierüber gesagt hatte, hervorgegangen. Ersterer erzählt hier, Archimedes habe einen gröfseren sechseckigen ebenen Spiegel mit kleineren vier und zwanzigeckigen durch Platten und Scharniere umgeben, und den mittleren den Sonnenstralen ausgesetzt, in der Richtung des Meridians, der durch die beiden Solstitien geht. Anthemius spricht in dem ersten seiner Probleme vom Meridiane, und von dem Stande der Sonne im Winter und Sommer, in dem dritten Probleme aber behauptet er, wie ich schon vorhin anführte, dafs mindestens vier und zwanzig zurückgeworfene Stralen zur Ansteckung eines leicht entzündlichen Gegenstandes erfordert würden. Durch eine Verwechselung dieser Zahlen ist Tzetzes zu jener, überhaupt von gar keiner Sachkenntnifs zeugenden Beschreibung gekommen.

Noch ein anderer Schriftsteller des zwölften Jahrhunderts, Eustathius, der bekannte Kommentator des Homer, gedenkt mit wenigen Worten jener Brennspiegel. „Der weise Archimedes", sagt er [1]), „der eine katoptrische Vorrichtung ersann, verbrannte die feindlichen Schiffe, wie einer, der Blitze schleudert."

Man sieht aus allem bisher Angeführten, wie unsicher das geschichtliche Fundament der Sagen über des Archimedes Brennspiegel ist, indem die beiden frühesten, auf uns gekommenen Quellen nichts

1) *Ad Iliad.* ε. *Ἔδοξε δέ τισι καὶ κατοπτρικήν τινα ἐπίνοιαν μεμηχανῆσθαι τῷ Διομήδει ἔν τε τῇ αὐτοῦ, ὡς εἰκὸς, περικεφαλαίᾳ καὶ τῇ ἀσπίδι, καὶ οὕτω λίαν καταυγεῖν τὰς ὄψεις τῶν εἰς αὐτὸν βλεπόντων, ὅτε ἀντικρὺ πρὸς λάμποντα ἥλιον ἔστραπτο, καθ' ἣν δὴ ταύτην μέθοδον Ἀρχιμήδης μὲν ὁ σοφώτατος πολεμικὰς ἐνεπύρισε νῆας, ὡς οἷά τις κεραυνοβόλος.*

Gewisses hierüber enthalten, die älteste Nachricht aber, die des Diodorus, hiermit nicht verglichen werden kann. Unser Glaube an die Wahrheit jener Sagen wird aber noch mehr erschüttert, wenn wir finden, dafs gerade die glaubwürdigsten Geschichtschreiber, Polybius, Livius und Plutarch, der erstere beinahe ein Zeitgenosse des Archimedes, der die Belagerung von Syrakus aufs ausführlichste beschreibt [1]), mit keiner Silbe der Brennspiegel des Archimedes erwähnen, ungeachtet sie von den Maschinen, mit denen er die feindlichen Schiffe angriff, mit Bewunderung reden. Auch gewinnt die ganze Sache nicht an Wahrscheinlichkeit, wenn wir in die Behauptung des Anthemius, dafs es nicht möglich sei, mit einem einzigen Hohlspiegel auf gröfsere Entfernungen zu zünden, und dafs Archimedes sich vielleicht eines, aus mehreren zusammengesetzten Spiegels bedient haben möge, näher eingehn.

Bei der Untersuchung der Frage, ob Archimedes mit einem einzigen Hohlspiegel die Schiffe habe entzünden können, kommt es besonders auf zwei Umstände an, auf die Entfernung, in der die Schiffe gelegen haben konnten, und auf die Länge der Brennweiten, die man bei unserer, so weit vorgeschrittenen Technik den gröfsten Spiegeln hat geben können. Aus der Beschreibung, die Livius [2]) und Plutarch [3]) von der Belagerung von Syrakus machen, geht allerdings hervor, dafs die Römischen Schiffe nahe an einander, und beinahe unter den Mauern des Theiles von Syrakus, welcher Achradina hiefs, gestanden haben. Syrakus hat nämlich zwei Hafen, die durch die Insel

1) *Hist.*, lib. VIII, cap. 7—9.
2) Lib. XXIV, cap. 21. sqq.
3) In der Biographie des Marcellus, cap. 14—19.

Ortygia gebildet werden, von denen der kleinere die Mauern von Achradina unmittelbar bespülte. Wenn nun Plutarch erzählt, dafs Archimedes mittelst einer Maschine, die Sambuca genannt wird, Steine von 10 Talenten an Gewicht auf die feindliche Flotte geworfen habe, so ist es nicht zu bezweifeln, dafs so ungeheuere Massen, die mehr als 12 Centner schwer waren, nur aus geringen Entfernungen geschleudert werden konnten. Gesetzt aber auch, die Römischen Schiffe hätten sich den Mauern von Syrakus bis auf 30 Schritte nähern können, wovon sich Athanasius Kircher, der unter den Deutschen zuerst eine genauere Untersuchung über diesen Gegenstand anstellte, bei einer nach Sicilien unternommenen Reise überzeugte [1]), so ist doch selbst unseren so weit vorgeschrittenen optischen Vorrichtungen die Konstruktion eines einzigen Spiegels von solcher Brennweite unaus-

1) *Varie, nec minus hyperbolice et ingenti cum exaggeratione in hac re loquuntur scriptores. Philippus Cluverius in „Sicilia antiqua" ait, naves combustas ad distantiam trium millium passuum; Diodorus Siculus ad tria stadia, hoc est, passus trecentos septuaginta quinque; Tzetzes, ut praecedenti §. vidimus, ad jactum sagittae; jactus autem sagittae pro arcuum varietate diversissimus est; fortiores arcus sagittam ad* 200 *passus ut plurimum projiciunt, alii majori, alii minori spatio. P. Athanasius Kircherus, dum Syracusas transiret, in Melitam navigaturus, locum, ex quo Archimedes ope speculorum naves combussisse traditur, diligenter examinavit, reperitque spatium multo minus esse, quam auctores tradunt, videlicet immediate ad moenia illius urbis partis ex quatuor, quam antiquitus Acradinam vocabant, et hodie non amplius extat. Unde collegit, combustionem illam possibilem fuisse, lineamque causticam fuisse triginta passuum ad summum, non amplius. Gasparis Schotti, soc. Jesu, magia universalis naturae et artis. Herbipoli*, 1657, pag. 417. Auch Brydone in seiner Reise durch Sicilien und Malta (Th. 1, S. 243. der Deutschen Uebersetzung) beschreibt die Lage des Ortes, wo Archimedes die Flotte angezündet haben soll.

führbar gewesen. Der Brennraum des Spiegels ist ein Kreis, der die Sehne eines Bogens von 16′ zum Halbmesser hat. Je gröfser nun die Brennweite wird, desto gröfser wird auch dieser Bogen, so dafs die Sonnenstralen nicht anders in hinlänglicher Dichtigkeit im Brennraume vorhanden sind, als wenn dem Spiegel eine dem vergröfserten Brennraume verhältnifsmäfsige Gröfse gegeben wird. Daher ist die Länge der Brennweite in gewisse, nicht zu überschreitende Grenzen eingeschlossen. Der gröfste Brennspiegel vor der Mitte des 17ten Jahrhunderts, von dem wir Kunde erhalten haben, ist der des Maginus, der 20 Zolle breit war, und 3 Bononische ($3\frac{1}{2}$ Pariser) Fufs Brennweite hatte [1]). Der parabolische Brennspiegel des Manfredus Septala, eines Kanonikus zu Mailand, war $3\frac{1}{2}$ Fufs breit, und seine Brennweite betrug 15 Schritte [2]). Berühmt ihrer Wirkungen wegen sind die Villetteschen Brennspiegel, von denen der von Ludwig XIV. gekaufte, und noch jetzt in dem Königlichen Kabinette in Paris vorhandene, bei einer Breite von 30 Zoll nur 3 Fufs Brennweite hat [3]). Noch berühmter ist der Spiegel, den v. Tschirnhausen um das Jahr 1687. aus einer dünnen Kupferplatte verfertigte. Er hat bei einer Apertur von ungefähr 3 (Leipziger) Ellen eine Brennweite von 2 Ellen [4]). Ein Brennglas, 160 Pfund schwer, und 3 Fufs breit, das eben dieser Physiker auf einer Sächsischen Glashütte machen liefs, hatte nichtsdestoweniger nur eine

1) *Christ. Wolfii elementa catoptricae*, §. 221., aus *Schotti magia nat.*, pag. 315.

2) *Athanasii Kircheri ars magna lucis et umbrae. Amstelodami*, 1671, pag. 883.

3) *Liebknecht diatribe academica de speculis causticis. Jenae*, 1704. *Christ. Wolfii elementa catoptr.* §. 221.

4) *Acta eruditorum, a.* 1687., pag. 52.

Brennweite von 12 Fuſs. Selbst die trefflichen, von James Short zu Edinburgh in den Jahren 1732. bis 1768. verfertigten Spiegel wurden nur bis zu einer Brennweite von 12 Fuſs, oder nicht viel weiter gebracht [1]). Auch die von Höse gemachten Spiegel hatten höchstens eine Brennweite von 48 Zollen. Der gröſste Spiegel endlich, der bis jetzt zu Stande gekommen ist, der zum Herschelschen Spiegelteleskope gehörige, hat bei einer Apertur von 48 (Englischen) Zollen nicht mehr, als 40 Fuſs Brennweite. Bei keinem dieser Spiegel erreichte also die Brennweite die Länge von 30 Schritten. Nehmen wir hierzu, woran schon Anthemius erinnerte, daſs die Sonne und der anzuzündende Gegenstand in der Achse des Spiegels gelegen sein müssen, so leuchtet ein, daſs weder Archimedes mit einem solchen Spiegel die Römische Flotte vernichtet habe, noch daſs es überhaupt möglich sei, auf bedeutendere Entfernungen damit zu zünden. Es bleibt also nur übrig, anzunehmen, daſs Archimedes sich eines Spiegels nach der Angabe des Anthemius, mit dem man allerdings auf beträchtliche Entfernungen zünden kann, bedient habe. Ehe ich aber zur Untersuchung der Frage, ob man dem Archimedes, nach seinen sonstigen Leistungen in der Optik, die Konstruktion eines solchen Spiegels zumuthen dürfe, übergehe, will ich zuerst die Resultate angeben, zu denen der Gebrauch dieser Spiegel geführt hat.

1) David Brewster in Newton's Leben. Leipzig, 1833, pag. 27. et sqq. Bei den Spiegeln, die Gärtner in Dresden aus Holz (*Wolfii elem. catoptr.*, §. 221.), und Neumann in Wien um das Jahr 1699. aus Pappe, und darauf geklebtem Stroh verfertigten (*Zahnii oculus artificialis*, fundam. 3, syntagma 3, cap. 10.), sind die Brennweiten nicht angegeben.

Ohne die Schrift des Anthemius zu kennen, machten Vitello [1]), gegen das Ende des 13ten Jahrhunderts, und Athanasius Kircher in seiner *Ars magna lucis et umbrae* [2]) Vorschläge zur Einrichtung eines Brennspiegels, der auf gröſsere Abstände zünden sollte. Vitello verbindet mehrere ebene Spiegel etwa von dreieckiger Gestalt so, daſs sie mit ihren Mittelpunkten die Oberfläche einer Kugel berühren würden. Indem die Sonnenstralen winkelrecht auf diese Spiegel fallen, sollen sie alle nach dem Mittelpunkte der Kugel hin reflektirt werden. Es leuchtet indeſs ein, daſs sie, wenn sich der leuchtende Gegenstand nicht gerade in dem Mittelpunkte der Kugel befindet, nur den Mittelpunkt eines einzigen Spiegels winkelrecht treffen können, und daſs daher auch nur ein geringer Theil derselben nach dem Mittelpunkte der Kugel reflektirt werden könne. Eben so unzweckmäſsig ist der Vorschlag des Bettinus [3]), zwei abgestumpfte parabolische Brennspiegel, einen gröſseren und einen kleineren, deren Brennpunkte hinter den Spiegelflächen liegen, so zusammenzustellen, daſs ihre Brennpunkte zusammenfallen. Die von dem gröſseren aufgefangenen Sonnenstralen sollen dann nach ihrer Durchkreuzung im gemeinschaftlichen Brennpunkte von dem kleineren aufgenommen, und, weil sie aus dem Brennpunkte desselben kommen, parallel unter sich fortgesendet werden. Ein anderer Gedanke desselben Bettinus, die von einem groſsen, nicht abgestumpften parabolischen Sammelspiegel reflektirten Sonnenstralen durch einen kleineren abgestumpften,

1) *Vitellonis optica*, lib. V, 65.
2) *Amstelodami*, 1671., pag. 772.
3) *Apiaria universae philosophiae mathematicae. Bononiae*, 1642, apiarium VII, pag. 41.

der so gegen den ersteren gestellt wird, dafs beider Brennpunkte zusammenfallen, aufzufangen, ist eben so wenig ausführbar, weil die parallel fortgehenden Stralen nicht dicht genug sind, um zünden zu können. Kircher aber, der es nicht dabei bewenden liefs, Vorschläge zu machen, sondern diese auch durch die Erfahrung prüfte, kam wieder auf denselben Gedanken, den schon Anthemius gehabt hatte. Indem er von der Voraussetzung ausging, dafs das Sonnenlicht in demselben Verhältnisse verdichtet werden müsse, in welchem die Zahl der ebenen Spiegel, die es nach derselben Stelle hinwerfen, vermehrt wird, stellte er einen Versuch mit fünf Spiegeln in einer Entfernung von 100 Fufs an, und schlofs aus der Wärme, die er hervorgebracht fand, dafs es möglich sein müsse, durch Hinzufügung mehrerer Spiegel, nicht nur in dieser Entfernung, sondern in viel gröfseren Abständen zu zünden.

Erst dem Grafen Buffon gelang es, die Idee des Anthemius im Grofsen auszuführen, und ganz unerwartete Wirkungen so eingerichteter Spiegel zu erhalten. Er selbst behauptet jedoch, die Gedanken der Alten über die Einrichtung solcher Spiegel nicht gekannt zu haben, während er mit der Verfertigung derselben beschäftigt war [1]). Den 4. April 1747., um 11 Uhr Morgens, brachte er bei schwachem Sonnenlichte mit 154 Spiegeln eine so hohe Temperatur hervor, dafs ein getheertes Brett von Tannenholz in einer Entfernung von 150 Fufs in weniger als zwei Minuten, nachdem die Spiegel so gestellt waren, dafs sie alle das Sonnenlicht nach derselben Stelle hin warfen, zu rauchen anfing. Den 10. April des Nachmittags wurde

1) *Supplément à l'histoire naturelle*, tom. I, pag. 422.

dasselbe Brett in derselben Entfernung, bei hellem Sonnenscheine, mit 128 Spiegeln augenblicklich entzündet. In einem Abstande von 20 Fufs wurde mit 45 Spiegeln Zinn geschmolzen, und Eisenblech zum Glühen gebracht; ja es gelang, mit 117 Spiegeln kleine Stücke Silber zu schmelzen. In der Folge hat er sogar Holz auf 200 Fufs angezündet, Zinn auf 150 Fufs, Blei auf 130, und Silber auf 60 Fufs geschmolzen [1]). Man kann übrigens mit einem so eingerichteten Spiegel nicht nur in horizontaler Richtung zünden, sondern auch nach oben oder unten hin, je nachdem das Licht anders einfällt.

Es bleibt nunmehr die Frage übrig, ob man dem Archimedes, nach seinen sonstigen Leistungen in der Optik, die Verfertigung eines solchen Spiegels zumuthen dürfe. Dafs er nicht allein die Geometrie und Mechanik, sondern auch die Optik zum Gegenstande seiner Forschungen gemacht habe, unterliegt keinem Zweifel. Apulejus, der im zweiten Jahrhunderte nach Chr. lebte, erwähnt eines grofsen Werkes, das Archimedes über die Spiegel geschrieben hatte [2]). Auch Theon [3]), der Kommentator des Ptolemäus, und Tzetzes [4]) berufen sich auf eine die Katoptrik betreffende Schrift des Archimedes. Obgleich man demnach nicht ungewifs sein kann, dafs

1) *Mém. de l'acad. des sc.* 1747. und 1748.

2) Nachdem er mehrere Eigenschaften der ebenen und Sammel-Spiegel angegeben hat, fährt er so fort: *Alia praeterea ejusdem modi plurima, quae tractat volumine ingenti Archimedes Syracusanus, vir in omni quidem geometria multum ante alios admirabili subtilitate; sed haud sciam, an propter hoc vel maxime memorandus, quod inspexerat speculum saepe ac diligenter. Apologia, ed. Julianus Floridus. Paris,* 1688, pag. 428.

3) *Ad Ptolemaeum. Basileae,* 1538, pag. 10.

4) *Chil.*, II, 153. und XIII, 974.

dieser sich auch mit der Optik beschäftigt habe [1], so bleibt es doch sehr unwahrscheinlich, dafs er solche Spiegel, wie sie Anthemius angiebt, nicht

1) Dem von Antonius Gogava (nicht Gongava, wie dieser Name unter anderen in der neuesten Auflage (an. VII.) der *Histoire des mathématiques par Montucla*, tom. I, pag. 236., auf welche Auflage ich mich in der Folge immer beziehen werde, geschrieben ist) herausgegebenen *Ptolemaei opus quadripartitum. Lovanii*, 1548, kl. 4to., ohne Seiten- und Blätter-Zahl, sind zwei aus dem Arabischen übersetzte Abhandlungen 1) *De sectione conica, orthogona, quae parabola dicitur*; 2) *Antiqui scriptoris libellus de speculo comburenti, concavitatis parabolae*, beigefügt. Die erstere, die achtzehn Seiten enthält, gehört der neueren Zeit an, weil in der Einleitung des von Vitello gemachten Vorschlages, den Brennspiegeln eine parabolische Gestalt zu geben, gedacht wird; die andere aber, die nur sieben Seiten einnimmt, hält Gogava für viel älter, vielleicht für eine Arbeit des Ptolemäus, die aus dem Griechischen ins Arabische übersetzt wurde. Andere wollen hierin des Archimedes Schrift *Περὶ κατόπτρων καυστικῶν*, die Tzetzes *Κατόπτρων τῆς ἐξάψεως* nennt, wieder gefunden haben. Die kurze Einleitung zu dieser Abhandlung *De speculo comburenti* lautet so: „*Ex sublimioribus, quae geometrae invenerunt, et in quibus solliciti fuerunt, sunt specula comburentia per conversionem radiorum solarium. Investigaverunt ergo modis diversis, ut ad unum punctum radii complures converterentur, et viderunt, radios conversos ex speculo plano ad punctum unum non converti, nisi ex puncto uno tantum, ex sphaerico non nisi ex circumferentia unius circulorum, cadentium in illam sphaeram. Atque ideo quidam complura specula plana conjunxerunt aut sphaerica, e quibus omnibus convertantur radii ad punctum unum. Inspicientes vero proprietates sectionum pyramidum viderunt, radios, cadentes super omnem planitiem cavam corporis parabolae, converti ad punctum eundem. Constat igitur, quod specula talia excellent comburendo reliqua omnia. Sed ipsi non exposuerunt demonstrationem super hoc, nec viam, quam nos explicabimus.*" Hieran schliefst sich nun in einer höchst unklaren Behandlung, wie man sie bei den Arabischen Mathematikern zu finden pflegt, der Beweis des Satzes, dafs eine durch den Schnitt eines geraden Kegels entstehende Parabel alle Sonnenstralen in einem Punkte vereinige. Die Abhandlung über die Brennspiegel, an die Orontius Finäus (Finé) in seiner

blofs theoretisch gekannt, sondern auch wirklich gebraucht habe, weil dann ihre kostspielige Konstruktion im Grofsen erst in der neuesten Zeit wieder gelungen sein würde. Aber gesetzt auch, Archimedes hätte solche Spiegel aus eigener Erfahrung gekannt, so wären sie in der That das unsicherste und unzweckmäfsigste Vertheidigungsmittel gewesen, das er ergreifen konnte. Waren die Schiffe so nahe, dafs er sie mit Brennspiegeln zu erreichen vermogte, so brachten brennende Massen, die er mit seinen Maschinen auf die Flotte warf, viel sicherer dem Feinde

Schrift *De speculo ustorio, ignem ad propositam distantiam generante, liber unicus. Lutetiae*, 1551. erinnert, ist ohne Zweifel eben diese von Gogava übersetzte. In der Vorrede rühmt nämlich Finäus des Apollonius Pergäus Untersuchungen über die Kegelschnitte, er gedenkt auch des Vitello, und sagt, dafs er von den übrigen, über eben diesen Gegenstand handelnden Schriften, nur noch die eines unbekannten Verfassers gesehn habe, die aus dem Arabischen ins Lateinische so unverständlich übertragen sei, dafs er sie kaum habe verstehn können. In der Abhandlung selbst beschreibt er, wie man die Parabel, die durch den Schnitt eines geraden Kegels entsteht, entwerfen, und hiernach parabolische Spiegel verfertigen müsse, welche Beschreibung einige Decennien später von Marinus Ghetaldus aus Ragusa, in der Schrift *Nonnullae propositiones de parabola. Romae*, 1603. dahin erweitert wurde, dafs er zeigte, es habe nicht blofs die durch den Schnitt eines geraden, sondern auch die durch den Schnitt eines schiefen Kegels entstehende Parabel die Eigenschaft, alle auf dieselbe fallenden Sonnenstralen in einem Punkte zu vereinigen. Um auf das von Gogava übersetzte Schriftchen *De speculo comburenti* zurückzukommen, so zweifele ich nicht, dafs dasselbe eben so, wie das erstere, *De sectione conica*, unmittelbar Arabischen Ursprunges ist, theils der Schreibart wegen, theils auch, weil in der Einleitung an die Längenabweichung der sphärischen Spiegel, und an die aus mehreren ebenen Spiegeln zusammengesetzten Brennspiegel gedacht wird, wozu sich in der Litteratur der Griechischen Optik nichts damit in Verbindung stehendes vorfindet. Weder Archimedes, noch Ptolemäus würden über so wichtige Gegenstände der Optik so flüchtig fortgeeilt sein.

den Untergang, zumal da die Stellung der Spiegel, um auch nur an einem einzigen Orte zu zünden, mehrere Stunden erfordert, und die Bedrängnisse eines Belagerten nicht eben Zeit zu physikalischen Experimenten übrig zu lassen pflegen.

Aus allen diesen Gründen bin ich geneigt, die ganze über des Archimedes Brennspiegel verbreitete Sage so lange für eine Erdichtung zu halten, bis die obwaltenden Zweifel durch genügendere geschichtliche Zeugnisse beseitigt sind. Man wird in dieser Ansicht noch mehr bestärkt, wenn man bei anderen Schriftstellern früherer Zeiten die Bereitwilligkeit bemerkt, mit der man solche ans Wunderbare grenzende Nachrichten aufnahm und verbreitete. So erzählt Porta in der Einleitung zum siebzehnten Buche seiner „Natürlichen Magie" mit dem gröfsten Ernste, dafs der König Ptolemäus Evergetes auf dem Leuchtthurme der Insel Pharos vor Alexandrien einen Spiegel aufgestellt habe, mit welchem er die feindlichen Schiffe auf 600000 Schritte habe beobachten können. Eben so zweifelt Roger Baco [1]) nicht an der Glaubwürdigkeit der Nachricht, dafs Julius Cäsar, als er England erobern wollte, auf der Küste Frankreichs sehr grofse Spiegel aufgerichtet habe, mittelst deren er sich von der Lage der Städte und der Stellung des Lagers in England zum voraus unterrichtete. Dieser Mangel an Kritik im Betreff physikalischer Gegenstände bei den Schriftstellern älterer Zeit mufs uns überhaupt in der Beurtheilung aller ähnlichen unwahrscheinlichen Nachrichten zur Richtschnur dienen. Die uns angeborne Hinneigung zum Wunderbaren wird um so mehr genährt, je kleiner

1) *Opus majus, ed. Jebb*, pag. 356.

der Kreis unserer Erfahrungen ist, und je lebhafter die ungezügelte Phantasie uns Bilder und Wünsche ausmalt, die wir gern verwirklicht sehn mögten. Es ist möglich, dafs Archimedes die nahen Schiffe nicht blofs durch die Allgewalt seiner Maschinen, sondern auch durch künstlich bereitete Brennstoffe zu vertilgen suchte. Hatte sich die Nachricht hiervon vielleicht durch Tradition erhalten, so war man in späteren Jahrhunderten leicht geneigt, dem gröfsten Mechaniker des Alterthums die künstlichste Weise, wie er dies bewerkstelligen konnte, zuzumuthen.

Auch die von Zonaras über die Brennspiegel des Proklus mitgetheilte Nachricht ist unwahrscheinlich. Nicht allein, dafs sich mehrere der gegen Archimedes geltend gemachten Gründe hier wiederholen lassen, so ist es auch auffallend, dafs Anthemius, der bald nach Proklus lebte, von den Spiegeln, die er angiebt, wie von seiner eigenen Erfindung spricht, und des Proklus nicht gedenkt.

Heron von Alexandrien.

Unter Ptolemäus Evergetes im zweiten Jahrhunderte vor Chr.

Theoretische Begründung des Reflexionsgesetzes.

Zu den Optikern des Griechischen Alterthums gehört auch der durch mehrere physikalische Erfindungen berühmte Heron. Er ist der Verfasser einer Katoptrik, von der aber nur ein Theorem, das Damian anführt, auf uns gekommen ist. Dies merkwürdige Theorem, durch welches zuerst die Nothwendigkeit des Reflexionsgesetzes bewiesen werden sollte, lautet so: „Die Linien, die unter gleichen Winkeln

von einer Fläche reflektirt werden, sind kleiner, als alle anderen, die unter ungleichen Winkeln zwischen denselben Punkten gezogen werden können, so dafs die Lichtstralen, wenn sie die Natur nicht einen vergeblichen Umweg machen lassen will, unter gleichen Winkeln reflektirt werden müssen."

Lange hielt man auch ein auf der Kaiserlichen Bibliothek in Wien befindliches Manuscript, *Ἥρωνος Ἀλεξανδρέως περὶ διόπτρας* [1]), für eine von der Dioptrik handelnde Schrift [2]) eben dieses Heron, bis erst vor kurzem Venturi [3]) uns mit dem Inhalte derselben näher bekannt gemacht und belehrt hat, dafs darin ein Instrument zum Winkelmessen, und wie man sich desselben zu Messungen von Entfernungen, Höhen u. s. w. zu bedienen habe, beschrieben werde. Das Manuscript hat Lücken, auch sind die Figuren unverständlich, so dafs man die Einrichtung des Instruments nicht deutlich daraus entnehmen kann; doch geht so viel aus der Vergleichung mehrerer Stellen hervor, dafs es aus einer Kreisplatte, und einem daran beweglichen Lineale bestand, und dafs die erstere grofs genug war, um Theile von Graden anzugeben, sie sich auch in jede beliebige Stellung bringen liefs.

1) *Petri Lambecii, Hamburgensis, commentarii de bibliotheca Vindobonensi. Editio altera. Vindob.*, 1781, tom. VII, pag. 416. Das Manuscript enthält ungefähr 30 Quart-Blätter, unter denen aber eine Lücke von 9 Blättern ist. Auch in Paris und in Strafsburg soll ein Manuscript dieser Abhandlung vorhanden sein.

2) Klügel in Priestley's Geschichte der Optik, pag. 25.

3) *Commentari sopra la storia e le teorie dell' Ottica.* Bologna, 1814.

Ptolemäus.

Im zweiten Jahrhunderte nach Chr.

Beim Uebergange aus einem dünneren in ein dichteres Mittel nähert sich der Lichtstral dem Einfallslothe, und er entfernt sich von demselben beim Uebergange aus einem dichteren in ein dünneres Mittel — Zwischen den Einfalls- und den Brechungswinkeln findet, so lange die brechenden Mittel dieselben bleiben, ein konstantes Verhältnifs Statt — Die ersten Refraktions-Tafeln für Luft und Wasser, Luft und Glas, und Wasser und Glas von 10 zu 10 Graden bis 80 Grade — Die Sterne werden durch die Stralenbrechung in der Atmosphäre dem Zenithe genähert.

Der älteste Schriftsteller, der einer „Optik des Ptolemäus" erwähnt, scheint Damian zu sein [1]). Unter den Neueren, die dieses Werk ausdrücklich nennen, ist Roger Baco, im dreizehnten Jahrhunderte, der erste. Regiomontanus, im funfzehnten, und Friedrich Risner, im sechszehnten Jahrhunderte, sprechen gleichfalls von der Optik des Ptolemäus, als einem damals bekannten Werke. Der erstere hatte die „Perspektiv des Ptolemäus" herausgeben wollen [2]), der andere aber sagt in der Vorrede zum Alhazen [3]), da, wo er an die seltene Gelehrsamkeit und den selbstständigen Forschungsgeist des Arabischen Optikers erinnert: *Euclideum hic vel Ptolemaicum nihil fere est.* Die letzten Nach-

1) Auch Simplicius, der im sechsten Jahrhunderte lebte, führt (*Commentarii in quatuor Aristotelis libros de coelo. Venetiis*, 1526, pag. 3.) eine Schrift *Περὶ διαστάσεως* des Ptolemäus, den er den bewunderten (*τὸν θαυμάσιον*) nennt, an, die sich auf die Optik zu beziehn scheint. Da er aber sagt, dafs sie nur ein Buch enthalte, so ist sie jedenfalls eine andere, als die, deren Inhalt hier angegeben wird.

2) *Joan. Frid. Weidleri hist. astronomiae. Vitembergae*, 1741, pag. 311.

3) *Alhazeni opticae thesaurus. Basileae*, 1572.

richten über das Vorhandensein einer Optik des Ptolemäus findet man im Anfange des siebzehnten Jahrhunderts. In diese Zeit gehört die Optik des Ambrosius Rhodius, in deren Vorrede der Inhalt des Ptolemäischen Werkes angegeben wird [1]). Auch fand Caussin vor einigen Jahren in der Königlichen Bibliothek zu Paris das Manuscript eines Schülers des Prof. Saint-Clair vom Jahre 1608., worin dieser Citate aus der Optik des Ptolemäus, als einem damals noch bekannten Werke, gegeben hatte [2]). Julius Cäsar Scaliger [3]), und viel später Milliet Dechales [4]) beziehen sich zwar auch auf eine opti-

1) *Optica Ambrosii Rhodii, Kembergensis. Witebergae*, 1611. Die Stelle lautet so: *Ipsum (Euclidem) secuti sunt alii Graeci, Archimedes, Apollonius, Avenellus, Damianus, quorum scripta optica vel interierunt, vel alicubi adhuc latitant; ex quibus tamen Alhazenus Arabs non obscure indicat* (lib. VI, cap. 4., et lib. VII, cap. 6.), *se multum esse adjutum. Solius Ptolemaei optica, quinque libris comprehensa, etiam habetur, sed nec illa est publici juris. Quorum primo persecutus est proprietates lucis et visus, ostenditque, quomodo in virtutibus et motibus conveniant et discrepent, suis cuique illorum differentiis et accidentibus assignatis. In secundo docuit, quae sint res visibiles, qualis sit cujusque habitudo, qualiter unaquaeque res visibilis videatur, et quot modis res vere visae comprehendi possint. In tertio egit de his, quae per reflexionem in speculis planis et convexis videntur. In quarto de his, quae in speculis concavis, compositis, aut per duo aut plura specula videntur. In quinto de his, quae videntur per refractionem.*

2) *Mémoires de l'institut royal, acad. des inscriptions et belles-lettres*, tom. VI, 1822.

3) In seiner gegen Hieronymus Cardanus gerichteten Schrift *De subtilitate. Francof.*, 1607, exercit. 81, 1. und exercit. 298, 1.

4) *Mundus mathematicus. Lugd.*, 1690 (die erste Ausgabe erschien i. J. 1674.), tom. I, pag. 66. *Incertus auctor vertit ex Graeco in Latinum opusculum Ptolemaei de speculis, in duos libros divisum. In primo habet aliquas propositiones de spe-*

sche Schrift des **Ptolemäus**, aber nur auf eine von den Spiegeln handelnde. Seitdem verschwindet jede Spur des **Ptolemäischen** Werkes, das wegen einiger, durch **Roger Baco** aufbehaltenen Stellen die Aufmerksamkeit auf sich zog, auch deſshalb, weil der berühmteste Astronom des Alterthums ihr Verfasser ist, ein um so gröſseres geschichtliches Interesse gewann. Die Meinung, dies Buch sei verloren gegangen, schien in **Fabricius** einen sicheren Gewährsmann gefunden zu haben; auch **Montucla** trug kein Bedenken, diese Ansicht in der Geschichte der Mathematik weiter zu verbreiten [1]). Dies war der Stand der Sache, als **La Place** in seiner *Exposition du systeme du monde* [2]) von neuem auf die Optik des **Ptolemäus**, die er in einem Lateinischen Manuscripte auf der Pariser Bibliothek entdeckt hatte, aufmerksam machte. **Delambre** untersuchte dies Manuscript, zu welchem sich noch ein zweites, gleichfalls Lateinisches, auf der Pariser Bibliothek vorfand, genauer, und so sind wir mit dem Inhalte der **Ptolemäischen** Optik, die besonders deſshalb, weil sie die ersten Grundzüge der Dioptrik enthält, unser Interesse in Anspruch nimmt, näher bekannt geworden [3]).

Die von **Delambre** untersuchte Handschrift ent-

culis planis; in secundo de concavis. Totum opus non excedit duo aut tria folia. Nihil habet magni momenti, videturque supponere, lumen esse substantiam, quae motu locali feratur.

1) Er bemerkt indeſs tom. I, pag. 314., daſs sich in der **Bodleyschen** Bibliothek ein Manuscript unter dem Titel: *Ptolemaei opticorum sermones V. ex Arabico latine versi*, befinde.

2) Pag. 308. der zweiten Ausgabe.

3) **Gilbert's** Annalen vom Jahre 1812, Bd. 40, pag. 371. *Mémoires de l'institut royal, acad. des inscriptions et belles-lettres.* tom. VI, 1822.

hält 211 Quart-Seiten, auf deren erster die Worte: *Incipit liber Ptholemaei de opticis sive de aspectibus, translatus ab Ammiraco Eugenio Siculo*, stehn. Da sich der sonst unbekannte Uebersetzer an einer anderen Stelle Ammiratus Eugenius Siculus nennt, so mufs man hieraus, und aus vielen anderen, theils fehlerhaft geschriebenen, theils ausgelassenen Wörtern und Sätzen schliefsen, dafs dies Manuscript nur eine verstümmelte Abschrift des Originals sei [1]). Der Name des Arabischen Uebersetzers wird übrigens eben so wenig, wie die Zeit, in der die Optik ins Arabische übertragen wurde, angegeben. Es ist indefs wahrscheinlich, dafs Almamun (813. bis 833. n. Chr.), der bekanntlich die Werke mehrerer Griechischen Schriftsteller ins Arabische übertragen liefs, auch die Uebersetzung dieser Schrift veranlafst habe.

Die Optik besteht aus fünf Büchern, von denen aber das erste in den beiden Arabischen Manuscripten, welche der Uebersetzer benutzt zu haben versichert, fehlte. Da indefs jedes Buch mit einer kurzen Inhaltsangabe des vorhergehenden beginnt, so läfst sich aus dem Anfange des zweiten entnehmen, dafs das erste von den Beziehungen, die zwischen dem Organe des Sehens und dem Lichte Statt finden, von der Aehnlichkeit und Verschiedenheit beider, gehandelt habe [2]). Das zweite Buch beschäftigt sich

1) Venturi (*Commentari sopra la storia e le teorie dell' Ottica. Bologna*, 1814.), der in der Ambrosianischen Bibliothek einen besseren Codex eben dieser Uebersetzung fand, vermuthet, dafs sie um das Jahr 1200. verfafst sein möge, weil Roger Baco mehrere Stellen aus dem Ptolemäus mit den Worten dieser Uebersetzung anführt. Gilbert's Annalen, Bd. 52., pag. 402.

2) *Quomodo visus et lumen communicant et ad invicem assimilantur, et quomodo differunt in virtutibus et motibus, neenon differentiae eorum et accidentia.*

mit den Bedingungen der Sichtbarkeit der Dinge. Das Gesicht lehrt uns die Gröfse, Gestalt, Farbe, Bewegung oder Ruhe der Körper kennen; nichts aber wird ohne ein Leuchtendes (*lucidum*) gesehen, und ohne etwas, das die Fortpflanzung des Lichtes verhindert. Die sichtbaren Dinge werden in wahre, welche Farben haben, und in nicht wahre, die farbenlos sind, unterschieden. Das Getast und das Gesicht, beide urtheilen über dieselben Dinge, mit Ausnahme der Farben, über welche nur das letztere entscheidet. Dies Buch handelt ferner von der Bedingung, unter der man einen Gegenstand mit beiden Augen nur einmal sieht. Es erfolge dies nämlich, wenn die Achsen der Gesichts-Pyramiden auf ein und denselben Gegenstand fallen, wie dies bei gesunden Augen gewöhnlich sei. Wird aber das Gesicht gezwungen, von seiner Gewohnheit abzuweichen, so werde man denselben Gegenstand doppelt erblicken. In demselben Buche spricht Ptolemäus noch von der verschiedenen Gröfse der Gegenstände, die abhängig sei von dem Gesichtswinkel und der Entfernung derselben. Von den übrigen, in diesem Buche vorkommenden Behauptungen, die meist Wahres und Falsches durch einander mischen, hebe ich noch besonders die heraus, dafs der Mond eine ihm eigenthümliche Farbe habe, die man nur bei Mondfinsternissen wahrnehmen könne [1]).

Das dritte Buch beschäftigt sich mit den ebenen und erhabenen Spiegeln. Hier wird unter anderen auch von der verschiedenen Gröfse der Sterne in der

1) Kepler sucht die Ursache der röthlichen Farbe, welche der Mond bei Verfinsterungen zeigt, darin, dafs sich das in der Atmosphäre an beiden Seiten der Erde gebrochene Sonnenlicht in dem Schatten derselben bis zum Monde erstreckt. *Paralipomena ad Vitellonem*, cap. 7.

Nähe des Horizontes und Meridians gehandelt, und folgende Erklärung dieses Phänomens gegeben: „Aus dem Vorhergehenden scheint zu folgen, dafs von Dingen, die am Himmel sind, und unter gleichen Gesichtswinkeln gesehen werden, die, welche dem Zenithe nahe sind, kleiner erscheinen müssen. Die in der Nähe des Horizontes befindlichen werden nämlich anders (gröfser) gesehn, weil wir sie auf eine gewohnte Weise erblicken; die höheren aber erscheinen klein, weil wir sie auf eine ungewöhnliche Weise sehen, und mit einer Schwierigkeit der Aktion" [1]). Roger Baco irrt daher, wenn er zugleich dem Ptolemäus und Alhazen die wahrscheinlichere Erklärung jenes Phänomens, „die Phantasie setze die Gestirne im Horizonte, wegen der Menge der dazwischen gelegenen Gegenstände, deren Entfernung zum Theil bekannt sei, in eine gröfsere Entfernung, als wenn sie im Zenithe oder in dessen Nähe stehn, und so müsse, da der Sehwinkel in beiden Fällen derselbe bleibt, der Durchmesser der Sterne im Horizonte gröfser erscheinen", zuschreibt. Diese Erklärung gebührt ausschliefslich dem Alhazen [2]). Im Almagest wird vielmehr als die Ursache der Vergröfserung der Gestirne in der Nähe des Horizontes die Brechung der Stralen durch die Dünste angegeben, so wie auch eine im

1) *Videretur hac de causa, quod de rebus, quae sunt in coelo, et subtendunt aequales angulos inter radios visibiles, illae, quae propinquae sunt puncto, quod supra caput nostrum est, apparent minores. Quae sunt prope horizontem, videntur diverso modo secundum consuetudinem; res autem sublimes videntur parvae extra consuetudinem, et cum difficultate actionis.*

2) *Opticae thesaurus Alhazeni, ed. Risnerus. Basileae.* 1572., lib. VII, pag. 280.

Wasser gesehene Sache gröfser erscheine [1]). Montucla, der, wie schon gesagt, den Inhalt der Ptolemäischen Optik nicht kannte, ist durch Roger Baco verleitet worden, die zuerst von Alhazen gegebene Erklärung dem Ptolemäus zuzuschreiben [2]).

Das vierte Buch handelt von Hohlspiegeln, von Spiegeln, die aus einem ebenen und konkaven, oder aus einem konkaven und konvexen zusammengesetzt sind, und von Pyramidal-Spiegeln mit kreisförmiger oder mehrseitiger Grundfläche.

Das fünfte Buch, dessen Ende fehlt, ist das merkwürdigste der ganzen Schrift, weil es die einzige, uns aus dem Alterthume erhaltene Abhandlung über die Dioptrik ist. Die beiden Grundgesetze, dafs sich der Lichtstral beim Uebergange aus einem dünneren in ein dichteres Mittel dem Einfallslothe nähere, und sich umgekehrt beim Uebergange aus einem dichteren in ein dünneres Mittel vom Lothe entferne, werden als Thatsachen, die durch die Erfahrung gegeben sind, vorausgesetzt [3]). Hierauf beschreibt Ptolemäus ein Instrument, mit welchem er die Ablenkung der

1) Lib. I, cap. 3. Dieselbe Erklärung findet sich auch bei Strabo, lib. III, cap. 1. Es wird hier die Meinung des Posidonius angeführt, dafs die Gröfse der Sonne beim Auf- und Niedergange auf dem Meere defshalb vermehrt werde, weil mehr Dünste aus dem Wasser aufsteigen, wefswegen das wie durch Röhren (δι' αὐλῶν, wo Einige δι' ὑάλων vorgeschlagen haben) gebrochene Bild einen gröfseren Schein gebe.

2) *Hist. des math.*, tom. I, pag. 313.

3) Delambre bemerkt, dafs diese beiden Sätze auch von Kleomedes, von dem wir eine in zwei Büchern geschriebene kosmographische Abhandlung, *Circularis inspectio meteororum*, besitzen, angeführt werden. In dieser Schrift habe ich die Sätze nicht gefunden. Da Kleomedes unter mehreren Kosmographen den Ptolemäus nicht nennt, so ist es wahrscheinlich, dafs er vor diesem gelebt habe.

Lichtstralen für Luft und Wasser, Luft und Glas, und für Wasser und Glas gemessen habe. Dies Instrument bestand in einem in 360° eingetheilten, mit einem vertikalen Durchmesser durchzogenen, und im Mittelpunkte mit einem farbigen Stiftchen versehenen Kreise, der zwei bewegliche Indices, den einen an dem oberen, den anderen an dem unteren Halbkreise, hatte. Nachdem der letztere auf einen beliebigen Grad gestellt, das Instrument hierauf senkrecht bis an das Stiftchen ins Wasser getaucht, und der obere Index so lange verschoben war, bis der Gesichtsstral durch beide Indices und das Stiftchen ging, bestimmte Ptolemäus aus der Vergleichung der Entfernungen, in denen sich beide Indices von dem senkrechten Durchmesser befanden, die Ablenkung, welche das Licht durch die Brechung erlitten hatte. So entwarf er die ersten Refraktions-Tafeln von 10 zu 10 Graden bis 80 Grade, deren Zahlen ich bei Vitello, um sie mit den Tafeln dieses Optikers vergleichen zu können, anführen werde.

Ptolemäus geht hierauf zur astronomischen Stralenbrechung über, deren Vorhandensein er daraus, dafs alle Sterne beim Auf- und Untergange dem Nordpole näher, als in der Mittagsebene sind, beweist[1]). Auch bemerkt er, dafs diese Stralenbrechung,

1) *Invenimus res, quae oriuntur et occidunt, magis declinantes ad septentrionem, et, cum fuerint orientes vel occidentes, circuli utique aequidistantes aequinoctiali, qui describuntur super illas, propinquiores sunt ad septentrionem, quam circuli, qui describuntur super illas, cum fuerint in medio coeli.* Roger Baco (*Specula math.*, pag. 37.) führt diese Stelle mit folgenden Worten an: *Nam si quis per instrumenta, quibus experimur ea, quae sunt in coelestibus, cuiusmodi vocantur armillae et alia, accipiat locum alicuius stellae circa aequinoctialem in ortu suo, et deinde accipiat locum ejusdem, quando*

deren Ursache er in der verschiedenen Dichtigkeit der Luft und des Aethers findet, um so mehr abnehme, je höher der Stern steht, und dafs im Zenithe der wahre und scheinbare Ort desselben zusammenfallen. Indem er endlich die Entstehung der Stralenbrechung an einer Figur erläutert, äufsert er den Gedanken, dafs zwischen den Einfalls- und Brechungswinkeln, so lange die brechenden Mittel ungeändert bleiben, ein konstantes Verhältnifs Statt finden dürfte [1]).

So merkwürdig auch alle diese Behauptungen bei einem Schriftsteller einer so frühen Zeit sein mögen, so finden wir wenigstens die astronomische Stralenbrechung schon in einem älteren Werke angedeutet. „Man kann", sagt Kleomedes, „die in der That schon unter dem Horizonte verborgene Sonne auf ähnliche Weise durch die Stralenbrechung sehn, wie ein Ring, der auf dem Boden eines mit Wasser angefüllten Gefäfses liegt, über den Rand desselben durch die Brechung gehoben und sichtbar wird" [2]). Sextus Empirikus, der gleichfalls von der astronomischen Refraktion spricht [3]), lebte wahrscheinlich erst um den Anfang des dritten Jahrhunderts nach Chr.

venit ad lineam meridiei, inveniet, in loco meridiei distare eam sensibiliter plus a polo mundi septentrionali, quam quando fuit in ortu. Sic autem Ptolemaeus docet et Alhazen, et ego consideravi instrumento hoc idem, et certum est.

1) Unter dem Einfallswinkel ist, wie gewöhnlich, der von dem einfallenden Strale und dem Einfallslothe, unter dem Brechungswinkel der von dem gebrochenen Strale und dem Einfallslothe gebildete Winkel zu verstehn. Den von dem verlängerten einfallenden, und dem gebrochenen Strale eingeschlossenen Winkel werde ich in der Folge den gebrochenen Winkel nennen.

2) *Circularis inspectio meteororum. Basileae*, 1585, p. 294.

3) *Adversus mathematicos. Coloniae Allobrogum*, 1621, p. 122. *Κατὰ ἀνάκλασιν τῆς ὄψεως τὸ ὑπὸ γῆν ἔτι καθεστὼς ζώδιον δοκεῖν ἤδη ὑπὲρ γῆς τυγχάνειν etc.*

Damianus, der Sohn des Heliodor von Larissa.

Zu den Griechischen Schriften, die ausschliefslich von der Optik handeln, gehören auch die *Κεφάλαια τῶν ὀπτικῶν*, als deren Verfasser man gewöhnlich den Heliodor von Larissa ansieht. Aber weder in dem Titel dieser Schrift, noch selbst in dem Namen des Verfassers findet in den Handschriften Uebereinstimmung Statt. In einem Codex der Barberinischen Bibliothek findet man die Ueberschrift: *Δαμιανȣ̃ φιλοσόφου, τȣ̃ Ἡλιοδώρȣ Λαρισσαίȣ, περὶ ὀπτικῶν ὑποθέσεων κεφάλαια*; in einem anderen Codex derselben Bibliothek: *Δαμιανȣ̃, τȣ̃ Ἡλιοδώρȣ Κρισσαίȣ, κεφάλαια τῶν ὀπτικῶν ὑποθέσεων*, und in einem Mailänder Codex in der Ambrosianischen Bibliothek: *Δαμιανȣ̃ Λαρισσαίȣ, τȣ̃ Ἡλιοδώρȣ, κεφάλαια τῶν ὀπτικῶν ὑποθέσεων.* Dagegen hat ein dritter Barberinischer Codex: *Ἡλιοδώρȣ Λαρισσαίȣ κεφάλαια τῶν ὀπτικῶν*, übereinstimmend mit einem Ambrosianischen Manuscripte. Nach diesen beiden letzteren Handschriften erschien die erste Ausgabe des Heliodor in Florenz 1573., die Lindenbrog in Hamburg im Jahre 1610. mit einer Lateinischen Uebersetzung abdrucken liefs. Die ganze Schrift enthält hier nur sieben Quart-Seiten. Die erste Ausgabe des Damian wurde von Erasmus Bartholinus in Paris, im Jahre 1657., besorgt. Bei der Vergleichung beider Schriften findet man, dafs die erstere wörtlich dasselbe enthält, was in den dreizehn ersten Kapiteln des ersten Buches bei Damian vorkommt, der diesem Buche noch ein vierzehntes Kapitel hinzugefügt hat, worin er die Optik in drei Theile, die eigentliche

Optik, Katoptrik und Scenographie eintheilt. Das zweite Buch des Damian enthält nichts, als einige Sätze aus Euklid. Weil in den vollständigen Handschriften Damian als Verfasser genannt wird, so scheint es, dafs Heliodor gar keinen Antheil an dieser optischen Schrift hat, sondern dafs ihm dieselbe nur defshalb in einigen Codicibus zugeschrieben wurde, weil sein Name sich immer neben dem des Damian fand. Die näheren Lebensumstände beider Männer, und die Zeit, in der sie lebten, sind unbekannt; nur so viel ergiebt sich aus der Schrift selbst, dafs sie später, als die Optik des Ptolemäus verfafst wurde. Ihr Inhalt ist defshalb nicht ganz ohne Interesse, weil darin einige Irrthümer, von denen die Griechische Optik befangen war, gleichsam theoretisch begründet werden, wie man aus einigen Stellen, die ich heraushebe, entnehmen wird.

„Die Gestalt unserer Augen, welche nicht hohl, noch so, wie die anderen Sinne eingerichtet sind, dafs sie etwas in sich aufnehmen könnten, sondern vielmehr eine runde Oberfläche haben, beweiset, dafs das Licht aus ihnen ausströme. Andere Gründe sind der Glanz der Augen, ferner der Umstand, dafs Einige bei Nacht, ohne eines fremden Lichtes zu bedürfen, sehen können, wie dies vom Kaiser Tiberius erzählt wird, und dafs die Augen der Thiere, welche des Nachts ihrer Nahrung nachgehn, wie Feuer glänzen."

„Dafs das Licht sich geradlinig, und in Gestalt eines Kegels fortpflanze, hat Ptolemäus in seiner Optik durch Versuche gezeigt; es läfst sich aber auch aus Vernunftgründen darthun. Damit das Licht so schnell als möglich zu den Gegenständen gelange, mufs es sich in gerader Linie fortpflanzen, weil diese

unter allen, welche dieselben Endpunkte haben, die kleinste ist. Es mufs ferner in einem Kreise auf die Gegenstände fallen, damit wir so viel, als möglich, von denselben sehen können; denn diese Figur hat unter allen ebenen desselben Umfanges den gröfsten Inhalt. Das aus dem Auge kommende Licht mufs also entweder die Gestalt eines Cylinders, oder eines Kegels haben. Die Gestalt eines Cylinders kann es aber nicht haben, weil alsdann das, was wir jedesmal sehen, nur von gleicher Gröfse mit der Pupille sein würde. Es mufs daher die Gestalt eines Kegels annehmen."

„Die Fortpflanzung des Augen- und Sonnenlichtes bis in die äufsersten Räume des Himmelsgewölbes geschieht augenblicklich. Denn so wie wir, nachdem die Sonne durch eine Wolke verdeckt war, in demselben Augenblicke, wenn die Wolke vorübergegangen ist, durch das Licht der Sonne erreicht werden, so erblicken auch wir, sobald wir nur den Blick nach oben werfen, sogleich den Himmel."

Die merkwürdigste Stelle der ganzen Schrift, um deretwillen sie von den folgenden Optikern häufig genannt wird, ist das aus des Mechanikers Heron Katoptrik entlehnte, und schon bei diesem angeführte Theorem.

Hipparch und Suidas erwähnen noch zweier Griechischen, von der Optik handelnden Werke, die aber nicht auf uns gekommen sind. Der erste schreibt eine Schrift Ἔνοπτρον dem Eudoxus von Knidos, einem Schüler des Plato, zu [1]; der andere führt

1) *Fabricii bibl. Gr.*, ed. Harles, tom. IV, pag. 11.

zwei Bücher *'Οπτικῶν*, und zwei Bücher *'Ενοπτρικῶν* an, ohne ihren Verfasser zu nennen. Fabricius ist der Meinung, dafs Philippus Opuntius, dessen Diogenes Laertius im „Leben des Plato" gedenkt, sie geschrieben habe [1]). — Plotinus, der im dritten Jahrhunderte nach Chr. lebte, und in seinen Enneaden *De rebus philosophicis*, in einer übrigens nur wenige Zeilen enthaltenden Abhandlung behauptet, dafs entferntere Gegenstände nicht eines kleineren Gesichtswinkels wegen kleiner erscheinen [2]), kann defshalb nicht zu den optischen Schriftstellern der Griechen gezählt werden.

1) *Fabricii bibl. Gr.*, ed. Harles, tom. III, pag. 104.
2) *Ed. Marsilius Ficinus. Basileae*, 1559, pag. 103.

Die Römer.

Wir haben bisher die Optik in stetem Fortschreiten gesehn, so fühlbar sich oft auch der Mangel einer Experimental-Optik, die durch jeden Versuch eine Menge von Erscheinungen unter denselben Gesichtspunkt bringt, und über das zur Thatsache Erhobene keinen Zweifel übrig läfst, gemacht haben mogte. Seit Ptolemäus aber tritt eine fast tausendjährige Unterbrechung dieses Fortschreitens ein, indem wir erst im eilften Jahrhunderte die Optik unter den Arabern wiederfinden. Ehe ich den Faden der Geschichte dort wieder aufnehme, will ich des dürftigen Zustandes der Optik bei den Römern gedenken.

Unter den Römischen Schriftstellern handeln von optischen Gegenständen nur Lukrez, Seneca und Plinius. Der erstere kleidet die Ansichten Epikur's über die Entstehung der Farben und Spiegelbilder, in seinem Lehrgedichte *De rerum natura*, in ein poetisches Gewand ein, so dafs man schon aus diesem Grunde hier keine wissenschaftliche Untersuchung über Gegenstände der Physik erwarten darf. Die Atome hält er für farbenlos, weil Farben nicht ohne Licht bestehn, die Atome aber nicht ans Licht hervortreten können, und erklärt die Verschiedenheit der Farben aus einer verschiedenen Gestalt, Mischung

und Lage der Atome, so wie aus einer verschiedenen Bewegung, die sie einander mittheilen [1]). Epikur's ungereimte Ansichten über die Entstehung der Spiegelbilder, die hier [2]) wiederholt werden, habe ich schon früher angegeben.

Eben so unbedeutend ist, was Seneca in seinen *Quaestiones naturales* aus der Optik anführt; doch scheidet man mit gröſserer Befriedigung von diesem, der strengeren stoischen Philosophie ergebenen Physiker, dem es darum zu thun ist, auf das Walten einer allmächtigen und allweisen Vorsehung in den Erscheinungen der Natur aufmerksam zu machen. Was er aber über die Entstehung der feuerigen Meteore [3]), und der Höfe um die Gestirne [4]) sagt, zeigt uns die Optik noch in ihrer ersten Kindheit, wie wir sie in den Aussprüchen der ältesten Griechischen Weltweisen kennen gelernt haben. In einer weitläufigen Abhandlung über den Regenbogen, der die Aristotelische Farbenlehre zum Grunde liegt, mögte dies allein bemerkenswerth sein, daſs schon hier auf die nicht bestimmbare Anzahl der Farben im Regenbogen aufmerksam gemacht wird [5]).

In der Kunst, die Spiegel zu schleifen, muſste man übrigens zu Seneca's Zeiten schon merkliche Fortschritte gemacht haben. Er kennt Spiegel, die einen Gegenstand ins Unglaubliche vergröſsern oder

1) Lib. II.
2) Lib. IV.
3) Lib. I, cap. 1.
4) Lib. I, cap. 2.
5) Seneca führt bei dieser Gelegenheit eine Stelle aus Ovid's Metamorphosen VI, 66. an:

Sed nunc diversi niteant cum mille colores,
Transitus ipse tamen spectantia lumina fallit;
Usque adeo, quod tangit, idem est, tamen ultima distant.

verkleinern, ihn in die Länge oder Breite verzerren, ihn vervielfältigen. Die Prachtliebe der reichen Römer, die es bei der Ausstattung ihrer Töchter an Spiegeln von der Höhe des menschlichen Körpers, die mit Gold und Edelsteinen verziert waren, nicht fehlen liefsen, giebt dem Seneca Veranlassung, einen Vergleich seiner Zeit mit den früheren einfachen Sitten anzustellen, und namentlich der Töchter Scipio's zu gedenken, deren Mitgabe, vom Römischen Senate geschenkt, in Kupfer bestand, während zu seiner Zeit die Kosten für einen einzigen Spiegel, den ein Freigelassener seiner Tochter schenken zu müssen glaubte, den Betrag jener ganzen Mitgabe aufwogen.

Seneca's Nachrichten über die Spiegel der Alten werden durch Plinius ergänzt. Gewöhnlich machte man diese, in dem Haushalte der Römer nothwendigen, Prachtstücke aus Metall, aber auch aus Stein, und selbst aus Glas. Für die besten hielt man in früherer Zeit die Brundisinischen, die aus Zinn und Erz zusammengesetzt waren [*stanno et aere mixta*] [1]). Später zog man die silbernen vor, die Praxiteles zuerst zur Zeit Pompejus des Grofsen verfertigte [2]). „Das Silber", sagt Plinius, „hat vor anderen Metallen die bewundernswürdige Eigenschaft, Bilder der vorgehaltenen Gegenstände zu zeigen, welches bekanntlich da-

1) *Hist. nat.*, lib. XXXIII, cap. 45., *ed. Millerus. Berol.*, 1766.

2) Die silbernen Spiegel scheinen schon viel früher im Gebrauche gewesen zu sein. Schon Plautus (*Mostell.* act. I, sc. 3, v. 111.) erwähnt solcher Spiegel. Bei späteren Schriftstellern ist mehrmals von ihnen die Rede. Philostratus, der zur Zeit des Kaisers Severus lebte, führt unter den der Venus geweihten Kostbarkeiten einen silbernen Spiegel an (*Icones*, I, cap. 6.); eben so Apulejus unter den Schätzen, die der Juno auf der Insel Samos geheiligt waren (*Florida*, pag. 350., *ed. Elmenhorst. Francof.*, 1621.).

durch erfolgt, dafs die Luft zurückgestofsen, und dem Auge wieder zugeführt wird." Aber auch der Steine bedienten sich die Alten zu Spiegeln. Plinius erwähnt in dieser Beziehung besonders des Obsidians, den Obsidius in Aethiopien fand. Er nennt diesen Stein einen dunkelen, zuweilen durchsichtigen, der in Wandspiegeln matte Bilder gebe [1]). Der Spiegel, durch welchen Nero den Kampf der Schwertfechter mitansah, soll ein Smaragd gewesen sein [2]). Auch erzählt Sueton, dafs Domitian die Wände des Säulenganges, in welchem er umherzugehn pflegte, mit Phengit belegen liefs; der Glanz dieses Steines stralte Bilder zurück, aus denen er, was hinter seinem Rücken geschah, erkennen konnte [3]). Plinius scheint selbst gläserne Spiegel gekannt zu haben. „Das Glas", sagt er, „wird durchs Blasen geformt, auch drechselt man es, und gravirt es, wie Silber. Sidon war früher durch solche Werkstätten berühmt, wie denn auch hier die Spiegel erfunden sind" [4]). Alexander Aphrodisiensis, gegen das Ende des zweiten Jahrhunderts n. Chr., und Isidorus von Sevilien, im siebenten Jahrhunderte, erwähnen gleichfalls des Glases, als einer zu Spiegeln sehr tauglichen Masse; doch scheinen die Glasspiegel erst im dreizehnten Jahrhunderte in allgemeineren Gebrauch gekommen zu sein [5]).

1) *Hist. nat.*, lib. XXXVI, cap. 67. *In speculis parietum pro imagine umbras reddens.*

2) *Hist. nat.*, lib. XXXVII, cap. 16.

3) *Vita Domit.*, cap. 14.

4) Lib. XXXVI, cap. 66. *Aliud vitrum flatu figuratur, aliud torno teritur, aliud argenti modo caelatur, Sidone quondam iis officinis nobili, siquidem etiam specula excogitaverat.*

5) Bonaventure Abat in seinen *Amusemens philosophiques*, 1763., bezieht sich, um diese Behauptung durchzuführen, auf

Auch die Wirkung der Brenngläser war den Alten nicht unbekannt, wie aus mehreren Stellen des Plinius hervorgeht. Er nennt das Glas einen Stoff, der biegsamer ist, und sich leichter färben läfst, als irgend ein anderer, der aber höhere Temperaturen nicht ertragen kann, wenn nicht vorher eine kalte Flüssigkeit hineingegossen wird. Giefse man Wasser in gläserne Kugeln, und halte sie gegen die Sonne, so würden sie so heifs, dafs sie Kleider anzünden könnten [1]). Doch ist diese Nachricht nicht die früheste, die wir über die Brennkugeln haben, da schon Strepsiades in „den Wolken" des Aristophanes behauptet, dafs er ein treffliches Mittel kenne, sich der lästigen Gläubiger zu entledigen; mit einem Glase wolle er nämlich die Buchstaben der Handschriften schmelzen [2]).

So oberflächlich und dürftig stellt sich uns die Optik der Römer dar, die, weit entfernt, die Mathematik und alle dahin gehörigen Disciplinen fortzubilden, sich nicht einmal das fremde Verdienst der Griechen anzueignen wufsten.

Stellen aus dem Antonius von Padua, Vincentius von Beauvais, Johann Peckham u. a. m.

1) Lib. XXXVI, cap. 67. Die Worte: *nec est alia nunc materia (vitro) sequacior*, werden auch so gelesen: *nec est alia speculis aptior materia.* Hierher gehört auch lib. XXXVI, cap. 9. *Invenio medicos, quae sunt urenda corporum, non aliter id fieri utilius putare, quam crystallina pila, adversis posita solis radiis.*

2) *Vers.* 754—762., *ed. Immanuel Bekker. Londini*, 1829.

Die Araber.

Alhazen.

Um das Jahr 1100. nach Chr.

Anatomische Beschreibung des Auges — Nicht das Auge ist die Quelle des Lichtes, sondern dies geht von den leuchtenden Gegenständen aus — Das Licht verbreitet sich von jedem leuchtenden Punkte kugelförmig — Genauere Theorie der Spiegelbilder — Lösung der Aufgabe: bei allen Arten der Spiegel den Reflexionspunkt zu finden, wenn der Ort des Bildes, und der des Gegenstandes gegeben sind — Berichtigung der von Ptolemäus ausgesprochenen Grundgesetze der Dioptrik — Das durch die Brechung des Lichtes entstehende Bild liegt im Durchschnittspunkte des von dem Gegenstande auf die brechende Fläche gefällten Lothes, und des gebrochenen Strales — Das Licht macht beim Durchgange durch zwei verschiedene brechende Mittel vor- und rückwärts einerlei Weg — Erste Andeutung der plan-konvexen gläsernen Linsen — Die Gestirne scheinen in der Nähe des Horizontes deſshalb gröſser zu sein, weil wir sie hier für entfernter halten — Das Licht wird nicht allein in der Atmosphäre gebrochen, sondern auch reflektirt — Berechnung ihrer Höhe.

Nach der Finsterniſs, in welche die mathematischen Wissenschaften seit Ptolemäus gehüllt waren, finden wir das erste Aufblühen derselben unter den Arabern wieder, seitdem die Regierung über dieses Volk in der Mitte des achten Jahrhunderts an die Familie der Abassiden gekommen war.

Jener Zeit, in der namentlich die mathematische Litteratur von den Arabern gepflegt und bedeutend erweitert wurde, gehört „die Optik" des Alhazen [1]) an, ein Werk, das freilich höchst unklar und weitschweifig geschrieben ist, aber schon defshalb unsere gröfste Aufmerksamkeit verdient, weil wir kein anderes, eben diese Wissenschaft betreffendes, aus der Arabischen Litteratur kennen, indem die gleichfalls von der Optik handelnden Schriften des Alfarabi und Alkindi noch bis jetzt nicht wieder aufgefunden sind.

Die Zeit, in der Alhazen lebte, ist ungewifs. Risner, der Uebersetzer desselben, hält es für wahrscheinlich, dafs er ein Zeitgenosse des Avicenna und Averroes gewesen sei, folglich gegen 1100. nach Chr. gelebt habe; Caussin [2]) dagegen, der sich auf ein in der Leydner Bibliothek gefundenes Mannscript stützt, ist der Meinung, dafs er schon um das Jahr 1038. gestorben sei.

Ich will den Inhalt dieses Arabischen Werkes, insofern er neue, bis dahin in die Optik nicht aufgenommene Gegenstände, oder Angriffe auf die Irrthümer der Griechen betrifft, angeben; zum voraus aber bemerken, dafs dies Werk, und die aus demselben entlehnte Optik des Vitello, bis zu den Zeiten Kepler's hin ein eben so grofses Ansehn, wie Euklid's Optik behaupteten.

Im ersten Buche beschreibt Alhazen, was vor

1) *Opticae thesaurus Alhazeni Arabis, libri VII. nunc primum editi. Ejusdem liber de crepusculis, et nubium ascensionibus. Item Vitellonis Thuringopoloni libri X. a Federico Risnero. Basileae*, 1572. Fol. 288 Seiten.

2) *Mémoires de l'institut royal, acad. des inscriptions et belles-lettres*, tom. VI, an. 1822.

ihm kein Optiker gethan hatte, das Auge anatomisch, und giebt den verschiedenen Bestandtheilen desselben eben die Namen, welche sie heute noch führen [1]). Er unterscheidet drei Flüssigkeiten, *humor aqueus*, *crystallinus*, *vitreus*, und vier Häute, *tunica adhaerens*, *cornea*, *uvea*, *tunica reti similis*. Gleich nachher behauptet er, dafs nicht das Auge die Quelle des Lichtes sei, sondern dafs letzteres von den sichtbaren Gegenständen ins Auge komme. Da er die Funktionen, welche die Natur der Krystall-Linse angewiesen hat, noch nicht kennt, sondern diese vielmehr als des Auges Hauptorgan, in dem die Bilder vollendet würden, ansieht, so kann man auch nicht erwarten, dafs seine Untersuchungen über die Entstehung der Bilder in den Augen sich der Wahrheit nähern sollten; die Frage über die Einheit der Bilder in beiden Augen aber beantwortet er richtiger, als es Ptolemäus gelungen war. Seiner Meinung nach vereinigen sich beide Bilder in dem gemeinsamen Sehnerven, so dafs sie sich einander decken, und auf die Seele den Eindruck eines einzigen machen [2]). Höchst wichtig ist im ersten Buche noch die Behauptung [3]), dafs aus jedem Punkte eines leuchtenden Körpers, nach allen Richtungen, in denen gerade Linien gezogen werden können, Lichtstralen ausgehn; woraus er folgert, dafs sich zwischen dem Auge und dem gesehenen Gegenstande eine Licht-Pyramide bilde, deren Scheitel im Auge, und deren Grundfläche auf dem Gegenstande liegt. Euklid hatte einen Licht-Kegel angenommen, ohne die Entstehung desselben zu erklären; aus den Beweisen, die er führt, geht vielmehr hervor, dafs er

1) Lib. I, 13.
2) Lib. I, 27.
3) Lib. I, 19.

aus dem Auge nur einzelne Stralen ausgehn liefs, und dafs er sowohl, wie seine Nachfolger, keine deutliche Vorstellung von der Verbreitung des Lichtes hatten.

Von geringerem Interesse sind das zweite und dritte Buch. Im zweiten untersucht Alhazen besonders die durchs Auge wahrgenommenen Eigenschaften der Körper, deren er zwei und zwanzig findet: Licht, Farbe, Entfernung, Lage, Gestalt, Gröfse, Bewegung, Ruhe u. s. w. In dem dritten, von den optischen Täuschungen handelnden, Buche macht er wiederholentlich auf den grofsen Einflufs aufmerksam, den die Phantasie und selbst der Verstand auf die Gesichtseindrücke haben. Hier, so wie überhaupt in dem ganzen Werke, ist Wahres und Falsches mit einander gemischt.

Um so wichtiger sind das vierte, fünfte und sechste Buch, in denen Alhazen, freilich durch sehr verwikkelte geometrische Konstruktionen, den Ort, die Lage und Gröfse der Spiegelbilder viel genauer bestimmt, als dies die Griechischen Optiker gethan hatten. Er beschäftigt sich mit sieben verschiedenen Spiegeln, dem ebenen, dem konvexen und konkaven Kugel-, Kegel-, und Cylinder-Spiegel. Nachdem er das Grundgesetz der Katoptrik genauer, als Euklid, angegeben hat, indem er nicht blofs, wie jener, den Einfalls- dem Reflexions-Winkel gleich setzt, sondern auch die durch den einfallenden und reflektirten Stral gelegte Ebene winkelrecht auf der durch den Einfallspunkt gedachten Tangential-Ebene annimmt, verwirft er die bei den Griechischen Philosophen gangbaren Hypothesen über die Entstehung der Spiegelbilder, und erklärt dieselbe lediglich aus der Reflexion der Lichtstralen. Auch ist die Aufgabe: den Reflexionspunkt bei sphärischen, Cylinder- und Kegel-Spiegeln

zu finden, wenn der Ort des Auges, und der des Gegenstandes gegeben sind — die im fünften Buche vorkommt — zuerst von ihm gelöst worden.

Im siebenten Buche beschäftigt sich der Arabische Optiker mit der Brechung des Lichtes. Das von Ptolemäus ausgesprochene Gesetz der Dioptrik: „beim Uebergange aus einem dünneren in ein dichteres Mittel nähert sich der Lichtstral dem Einfallslothe, und er entfernt sich von demselben beim Uebergange aus einem dichteren in ein dünneres Mittel", wird auch hier zum Grunde gelegt, darin aber genauer bestimmt, dafs der einfallende und gebrochene Stral in derselben, auf der brechenden Fläche winkelrecht stehenden Ebene angenommen werden. Das andere Gesetz des Ptolemäus aber: „Zwischen den vom Einfallslothe, und dem einfallenden und gebrochenen Strale gebildeten Winkeln findet ein konstantes Verhältnifs Statt", wird hier wenigstens nicht als ein für den ganzen Quadranten giltiges anerkannt [1]). Alhazen zeigt hierauf, wie man die Brechung des Lichtes aus Luft in Glas oder Wasser von 10 zu 10 Graden bis 80 Grade auf dem Experimental-Wege finden könne, theilt aber die Resultate seiner Beobachtungen nicht in einer Tabelle mit. Das durch die Brechung entstehende Bild setzt er in den Durchschnittspunkt des von dem Gegenstande auf die brechende Fläche gefällten Lothes, und des gebrochenen

1) Lib. VII, 10. *Anguli refractionum non observant eandem proportionem ad angulos, quos continet prima linea* (der einfallende Stral) *cum perpendiculari, sed differunt hae proportiones in eodem corpore diaphano.* Hätten die folgenden Optiker diese, in einer Schrift der damaligen Zeit gewifs höchst merkwürdige, Bemerkung nicht übersehn, so würden nicht Jahrhunderte nach Alhazen verflossen sein, ehe man endlich das wahre Brechungsgesetz entdeckte.

Strales, oder seiner Verlängerung; er erinnert an die bekannte Erfahrung, dafs der Lichtstral beim Durchgange durch zwei verschiedenartige Mittel vor- und rückwärts einerlei Weg mache, und erklärt die Erhöhung und Vergröfserung des Bildes eines im dichteren Mittel, dessen Oberfläche horizontal ist, befindlichen Gegenstandes blofs aus der Richtung, in der die gebrochenen Stralen ins Auge kommen. Eben so zeigt er[1]), dafs ein Gegenstand, an die ebene Seite des kleineren, aus einem dichteren Mittel, als die Luft, bestehenden Kugelsegmentes gelegt, während dem Auge selbst die konvexe Seite zugekehrt wird, vergröfsert erscheinen müsse. Nachdem er eine sehr ungereimte Anwendung von diesem Satze gemacht hat, indem er die Vergröfserung eines im Wasser, dessen Oberfläche er nicht horizontal, sondern parallel mit der Erde, also sphärisch annimmt, betrachteten Gegenstandes durch denselben erklärt, fährt er so fort: „*In assuetis visibilibus non est tale aliquid, quod videatur ultra corpus diaphanum sphaericum, grossius aere, ultra centrum sphaerae, et res visa cum sit intra hoc corpus sphaericum. Hoc enim non fit, nisi corpus sphaericum fuerit vitreum aut lapideum, et fuerit totum corpus sphaericum solidum, et res visa fuerit intra ipsum; aut ut corpus sphaericum sit portio sphaerae, major semisphaera, et res visa sit applicata cum basi ejus. Sed hi duo situs raro accidunt.*" Zum ersten Male wird hier also ein gläsernes Kugelsegment, und zwar das grössere, zur Vergröfserung eines Gegenstandes in Vorschlag gebracht. Gewifs aber ahnete Alhazen weder den Nutzen solcher Linsen als Augengläser, noch

1) Lib. VII, 44. und 45.

scheint er überhaupt die Wirkung dieser Gläser aus eigener Erfahrung gekannt zu haben, weil er sonst nicht behauptet hätte, dafs ihre Anwendung nur selten vorkommen könne, auch nicht verlangt haben würde, dafs man das Objekt unmittelbar an die ebene Seite der Linse lege, und dafs diese jedesmal ihre konvexe Seite dem Auge zukehre. Auch die Erfindung der Augengläser gehört also zu den vielen anderen in der Optik, bei denen die Theorie der Technik voraneilte.

Gegen das Ende des Werkes giebt Alhazen einen ziemlich befriedigenden Grund, dessen ich schon bei der Optik des Ptolemäus gedacht habe, für die Vergröfserung der Gestirne im Horizonte an. „Die Phantasie setzt die im Horizonte oder dessen Nähe befindlichen Sterne, wegen der Menge der dazwischen gelegenen Gegenstände, deren Entfernung zum Theil bekannt ist, in eine gröfsere Entfernung, als wenn sie im Zenithe, oder in der Nähe desselben stehn. Da nun der Sehwinkel in beiden Fällen derselbe bleibt, so mufs der Durchmesser der Sterne gröfser erscheinen, wozu noch kommt, dafs die sich gewöhnlich in der Nähe des Horizontes aufhaltenden Dünste zur Vergröfserung beitragen." Alhazen ist übrigens so weit entfernt, die Ursache der Vergröfserung in der Stralenbrechung zu suchen, dafs er vielmehr zeigt [1], es müsse der Durchmesser der Sterne durch dieselbe kleiner werden, weil die in das Auge gelangenden Lichtstralen nach dem Brechungsgesetze immer in denselben Vertikalkreisen bleiben, diese Kreise aber nach dem Zenithe hin näher an einander rücken, die

1) Lib. VII, 54.

Sterne folglich um so kleiner erscheinen müssen, je mehr sie durch die Brechung gehoben werden.

Der Optik ist eine kurze Abhandlung über die Dämmerung und die Höhe der Atmosphäre beigefügt, worin der Dämmerungskreis 19 Grade unter dem Horizonte, und die gröfste Höhe der Luft auf 52000 Schritte berechnet wird. So ungenau auch diese Zahl bei der Unzulänglichkeit der gebrauchten Maafse sein mag, so ist doch das Verfahren, dessen sich hier Alhazen bedient, höchst sinnreich. Nicht die brechende, sondern die viel bedeutendere reflektirende Kraft der Luft, die man schon daraus, dafs nicht blofs die unmittelbar von der Sonne erleuchteten Seiten der Körper, sondern auch die von ihr abgewandten sichtbar sind, erkennt, dient ihm nämlich zur Berechnung ihrer Höhe. Ist der um (Fig. 1.) *C* mit *CA* beschriebene Kreis die Erde, *NM* die äufserste Grenze der Luft, da wo sie das Licht zu reflektiren noch fähig ist, *A* der Ort des Beobachters, *HR* sein Horizont, *SM* ein Stral der Sonne *S*, welcher die Erde in *B* berührt, so dafs, wenn der Winkel *SMH* 19° beträgt, die Dämmerung in *A* beginnt, so findet Alhazen aus dem Dreiecke *MCA*, worin, aufser dem Erdhalbmesser *CA*, alle Winkel bekannt sind, indem nach dem Reflexionsgesetze $\angle BMC = CMA = 80^\circ\ 30'$, die Länge von *CM*, und wenn hiervon der Erdhalbmesser subtrahirt wird, die oben angegebene Höhe *DM* der Atmosphäre [1]).

Schon aus dem hier Mitgetheilten geht hervor,

1) Wird der Winkel $SMH = 18^\circ$ angenommen, so ist der Winkel $MCA = 9^\circ$, und für den Erdhalbmesser $CA = 860$ Deutsche Meilen, $CM = CA \cdot sec.\ 9^\circ = 870{,}7$ Meilen, die Höhe der Atmosphäre also 10,7 Meilen.

dafs Alhazen nicht nur mehr Gegenstände, als irgend ein anderer Optiker vor ihm, behandelt, sondern dafs er auch ungemein viel zur Förderung unserer Wissenschaft gethan habe. Wie viel er dabei der Tradition verdanke, läfst sich um so schwerer beurtheilen, da er nirgends eine fremde Autorität anführt.

Die Europäer seit der Mitte des 13. Jahrhunderts.

Vitello.

Um das Jahr 1270.

Vergleichung der Refraktions-Tafeln des Ptolemäus und Vitello — Die durch gläserne Prismen entstehenden Farben sind dieselben mit den Regenbogen-Farben — Parabolische Brennspiegel.

Ueber die Lebensumstände dieses Optikers ist nur so viel mit Zuverlässigkeit bekannt, dafs er, wie er selbst erzählt, in Polen geboren ist [1]), seine optischen Kenntnisse in Italien gesammelt, und seine Optik daselbst geschrieben hat [2]). Seine sonstigen Lebensverhältnisse aber sind so dunkel, dafs man nicht ein-

1) Lib. X, 74. Auf dem Titel des ganzen Werkes heifst er *Thuringopolonus*, und auf dem eines jeden Buches *filius Polonorum et Thuringorum*, welches Risner, der, wie ich schon bei Alhazen bemerkt habe, dies Werk herausgegeben hat, so erklärt: *Patre videlicet Polono et matre Thuringa, aut contra procreatus*. Die Bedeutung, die Scheibel (Einleitung zur mathem. Bücherkenntnifs, Stück VII, pag. 277.), welcher Thorn zum Geburtsorte Vitello's macht, dem Worte *Thuringopolonus* unterlegen will, läfst sich schwerlich vertheidigen. Eben so setzt Alhazen seinem Namen jedesmal *filius Alhayzen* bei.

2) Lib. X, 42. und 67.

mal die Zeit, in welcher er lebte, mit Gewifsheit angeben kann. Er hat sein Werk einem Dominikaner, Wilhelm de Morbeta, gewidmet. Ist dieser, wie sich kaum bezweifeln läfst, eben derselbe, der im Jahre 1269. eine Geomantie in acht Sammlungen schrieb, die Risner gelesen hatte, so würde Vitello in dieselbe Zeit zu setzen sein. Sein Verdienst besteht besonders darin, die Optik des Alhazen verständlicher und geordneter vorgetragen zu haben. Da er auch die Sätze aus Euklid und Ptolemäus hinzufügt, so ist sein Werk dadurch zu einem der gröfsten angewachsen, die jemals über die Optik geschrieben wurden. Es enthält in zehn Büchern nicht weniger, als 474 enggedruckte Folio-Seiten. Mir aber bleibt nur Weniges, das dem Vitello eigenthümlich Angehörende, aus diesem grofsen Werke anzuführen übrig.

Mit Recht bringt Alhazen das gröfsere gläserne Kugelsegment zur Vergröfserung eines Objektes in Vorschlag, weil die Wirkung eines solchen Glases um so beträchtlicher wird, je dicker es ist. Auch Vitello gedenkt der gläsernen Kugelsegmente; den Alhazen aber mifsverstehend, spricht er von dem kleineren. Seine eigenen Worte sind diese[1]): „*Forte tamen portio sphaerae crystallinae, minor hemisphaerio, fortius inflammaret, in loco centri sui posita re inflammabili, quoniam omnes radii, totali illi superficiei sphaericae perpendiculariter incidentes, concurrerent in centro. Sed et in horum experimentatione est maxima latitudo, quam relinquimus ad talia curiosis.*" Offenbar kannte also auch Vitello die Wirkung solcher Linsen nicht aus eigener

1) Lib. X, 48.

Erfahrung. Wie sehr mangelhaft aber damals noch die Theorie der Optik war, erhellt schon daraus, daſs alle einfallenden Stralen als winkelrecht auf der konvexen Glasfläche angesehn werden.

Der Arabische Optiker hatte das Ergebniſs seiner Beobachtungen über die Brechung des Lichtes in verschiedenen Mitteln nicht in einer Tabelle zusammengestellt. Eine solche giebt Vitello; sie ist aber wenig von der des Ptolemäus verschieden. Hier folgen beide Tafeln, zugleich mit dem von Delambre berechneten Verhältnisse der Sinus der Einfalls- und Brechungswinkel [1]):

Stralenbrechung nach Ptolemäus.

Einfallswinkel	aus Luft in Wasser		aus Luft in Glas		aus Wasser in Glas	
	Brechungswinkel.	Verhältniſs der Sinus.	Brechungswinkel.	Verhältniſs der Sinus.	Brechungswinkel.	Verhältniſs der Sinus.
10°	8°	1:0,80143	7°	1:0,70179	9½°	1:0,95044
20°	15½°	:0,78136	13½°	:0,68255	18½°	:0,92774
30°	22½°	:0,76537	20½°	:0,70041	27°	:0,90798
40°	28°	:0,73037	25°	:0,65748	35°	:0,89233
50°	35°	:0,74875	30°	:0,65270	42½°	:0,88192
60°	40½°	:0,74992	34½°	:0,65403	49½°	:0,87804
70°	45°	:0,75249	38½°	:0,66247	56°	:0,88422
80°	50°	:0,77786	42°	:0,67946	62°	:0,89657
	Im Mittel 1:0,76344 =4:3,05376		Im Mittel 1:0,67386 =3:2,02158		Im Mittel 1:0,90190 =9:8,11710	

1) Gilbert's Annalen, Bd. 40., pag. 385. u. d. f.

Stralenbrechung nach Vitello.

Einfallswinkel	aus Luft in Wasser		aus Luft in Glas		aus Wasser in Glas	
	Brechungswinkel.	Verhältnifs der Sinus.	Brechungswinkel.	Verhältnifs der Sinus.	Brechungswinkel.	Verhältnifs der Sinus.
10°	7¾°	1:0,77658	7°	1:0,70178	9½°	1:0,95043
20°	15½°	:0,78135	13½°	:0,68255	18½°	:0,92773
30°	22½°	:0,76537	19½°	:0,66761	27°	:0,90796
40°	29°	:0,75423	25°	:0,65748	35°	:0,89233
50°	35°	:0,74875	30°	:0,65270	42½°	:0,88192
60°	40½°	:0,74992	34½°	:0,65403	49½°	:0,87804
70°	45½°	:0,75904	38½°	:0,66247	56°	:0,88224
80°	50°	:0,77787	42°	:0,67946	62°	:0,89657
	Im Mittel 1:0,76414 = 4:3,05656		Im Mittel 1:0,67976 = 3:2,00928		Im Mittel 1:0,90190 = 9:8,11710	

Einfallswinkel	aus Wasser in Luft		aus Glas in Luft		aus Glas in Wasser	
	Brechungswinkel		Brechungswinkel		Brechungswinkel	
	nach Vitello.	wirklicher.	nach Vitello.	wirklicher.	nach Vitello.	wirklicher.
10°	12° 15′	16° 37′	13° 0′	15° 2′	10° 30′	11° 6′
20°	24° 30′	26° 35′	26° 30′	30° 42′	21° 30′	22° 17′
30°	37° 30′	40° 52′	40° 30′	48° 17′	33° 0′	33° 40′
40°	51° 0′	57° 16′	55° 0′	73° 41′	45° 0′	45° 27′
50°	65° 0′		70° 0′		57° 30′	58° 9′
60°	79° 30′		85° 50′		70° 30′	73° 47′
70°	94° 30′		101° 30′		84° 0′	
80°	110° 0′		118° 0′		98° 0′	

Die mittleren Brechungsverhältnisse in den beiden ersten Tabellen sind so genau, wie sich dies von so unvollkommenen Vorrichtungen, wie sie Ptole-

mäus und Vitello gebrauchten, kaum erwarten liefs[1]); die Brechungswinkel der dritten Tabelle aber weichen nicht allein alle von ihrem wirklichen Werthe bedeutend ab, sondern es kommen hier auch unmögliche Winkel vor, weil bekanntlich der Lichtstral beim Uebergange aus einem dichteren in ein dünneres Mittel nur unter Einfallswinkeln, die eine gewisse Grenze nicht überschreiten, gebrochen, unter gröfseren Einfallswinkeln aber nach innen, wie von einem Spiegel, reflektirt wird. Diese Grenze aber ist beim Uebergange aus Wasser in Luft der Winkel von $48^{0}\ 19'$, und aus Glas in Luft der Winkel von $40^{0}\ 19'$. Vitello ist zu diesem Irrthume durch eine unrichtige Anwendung des von Alhazen angegebenen Satzes, dafs der Lichtstral vor- und rückwärts denselben Weg nimmt, verleitet worden. Da z. B. beim Uebergange aus Luft in Wasser der Brechungswinkel von $7\frac{3}{4}^{0}$ um $2\frac{1}{4}^{0}$ kleiner ist, als der Einfallswinkel von 10^{0}, so schlofs er hieraus, dafs beim umgekehrten Uebergange aus Wasser in Luft der Brechungswinkel um $2\frac{1}{2}^{0}$ gröfser sein müsse, als der Einfallswinkel von 10^{0}, so nämlich, dafs jedesmal die Summe der beiden Brechungswinkel dem Doppelten des Einfallswinkels gleich ist.

Die Entstehung des Regenbogens erklärt Vitello durch eine Brechung und Zurückwerfung der Sonnenstralen, ohne jedoch den Weg des Lichtes in den einzelnen Tropfen auch nur im entferntesten richtig anzugeben. Er unterscheidet besonders drei Farben, *color puniceus*, *viridis*, *alurgus*, und sucht die Ursache ihrer Verschiedenheit nach der Aristoteli-

1) Newton findet das Brechungsverhältnifs des gelben Lichtes aus Luft in Regenwasser = 4 : 2,99432, und aus Luft in gewöhnliches Wasser = 3 : 1,93048.

schen Farbenlehre in der Mischung von mehr oder weniger Sonnenlicht mit den dunkelen Räumen des thauigen Dunstes (*vapor roridus*), in welchem der Regenbogen sich bildet [1]). Die Richtigkeit der von mehreren Beobachtern seiner Zeit aufgestellten Behauptung, dafs die Summe der Höhe des Regenbogens und der Sonne konstant, und zwar immer gleich 42 Graden sei, bezweifelt er, weil der Halbmesser des Regenbogens, nach der verschiedenen Dichtigkeit der Atmosphäre, bald gröfser, bald kleiner sein müsse. Die Regenbogen-Farben, bemerkt er endlich, entstehn auch, wenn man ein krystallenes Sechseck, oder eine mit Wasser angefüllte gläserne Kugel gegen die Sonne hält. Gläserner eckiger Stäbchen, die gegen die Sonne gehalten, dieselben Farben geben, die man im Regenbogen sieht, hatte aber schon Seneca gedacht [2]).

Dafs Vitello den Brennspiegeln eine parabolische Gestalt zu geben rieth [3]), habe ich schon früher bemerkt.

Joannes Peckham.

Geb. 1228., gest. 1291.

Gleichzeitig mit Vitello lebte in England Joannes Peckham, Erzbischof von Canterbury, der, aufser vielen theologischen Werken, auch eine optische Abhandlung, *Perspectiva communis*, geschrieben hat. Nach dem Inhalte dieser Schrift, die nicht blofs von dem geradlinigen, sondern auch von dem reflektirten und gebrochenen Lichte handelt, verband man

1) Lib. X, 67.
2) *Quaest. nat.*, lib. I, cap. 7.
3) Lib. IX, 43.

damals mit dem Worte „Perspektiv" dieselbe Bedeutung, die man jetzt dem Worte „Optik" giebt. Es ist aber diese *Perspectiva communis* nichts, als ein höchst unklarer Auszug aus Alhazen, und anderen Optikern. Dafs sie als Lehrbuch in die Schulen eingeführt wurde, und defshalb viele Auflagen erlebte, konnte sie nur dem abschreckenden Umfange des Viielloschen Werkes verdanken.

Der Name dieses Optikers wird in den verschiedenen Ausgaben verschieden angegeben. Bald wird er Peckham (Peckam) oder Pecham [1]), bald Petsan oder Betsan, auch Pisanus, oder blofs *Archiepiscopus Cantuariensis* genannt [2]).

1) Sein Leben beschreibt *Franciscus Godwinus in commentario de Praesulibus Angliae. Londini*, 1616. pag. 139—144.

2) Scheibel (Einleitung zur mathematischen Bücherkenntnifs, Stück VII, pag. 280.) versichert, folgende vier Ausgaben mit einander verglichen, und sie von gleichem Inhalte gefunden zu haben: 1) *Joannis, Archiepiscopi Cantuarensis, perspectiva communis, ed. Gauricus, Neapolitanus*, kl. Folio, 18 Bl., *sine loco et anno;* 2) *Perspectiva communis per Georgium Hartmannum, Norimbergensem. Norimbergae*, 1542. 4to, 50 Bl., wo in der Vorrede steht: *Ejus auctor esse perhibetur Joannes Pisanus, olim episcopus Cameracensis*, und kurz vorher: *Quae nobis pueris proponebatur;* 3) *Joannis, Archiepiscopi Cantuarensis, perspectivae communis libri tres. Coloniae Agrippinae*, 1580; 4) Unter demselben Titel. *Coloniae*, 1592. Die Mailänder, von Facius Cardanus, dem Vater des berühmteren Hieronymus Cardanus, unter dem Titel: *Prospectiva communis Johannis, Archiepiscopi Cantuariensis*, 29½ Bl., besorgte Ausgabe, die sich auf der Königl. Bibliothek in Berlin befindet, führt Scheibel gar nicht an. Auch diese ist, wie die oben zuerst genannte, in klein Folio, ohne Angabe des Ortes und der Jahreszahl gedruckt. Von unbekannter Hand ist „Mailand, 1496." darunter geschrieben. Aufserdem nennt Doppelmaier (Von Nürnb. Mathem., pag. 57.) noch folgende Ausgaben einer *Perspectiva communis*, deren Verfasser von ihm Joannes Pisanus, von Baldi (*Cronica de matematici*, pag. 91.) aber Betsan genannt wird: 1) Eine Würzburger Ausgabe vom Jahre 1504.;

Ein Zeitgenosse des Peckham ist Jordanus Nemorarius, der einen *Commentarius de natura speculorum* geschrieben hat.

Roger Baco.

Geboren 1216., gestorben 1294.

Er ist weder der Erfinder der Fernröhre, noch der Augengläser — Die ersten Brillen sind gegen das Ende des dreizehnten Jahrhunderts in Italien, wahrscheinlich von Salvino degli Armati, in Florenz geschliffen worden — Baco hat aber zuerst die Lage des Brennpunktes der Hohlspiegel richtig angegeben, und gezeigt, dafs die von sphärischen Spiegeln reflektirten Lichtstralen die Achse nicht in einem, sondern vielmehr in unzählig vielen Punkten schneiden. Doch war diese sogenannte Längenabweichung der sphärischen Spiegel schon früher bemerkt worden.

Roger Baco, aus einer angesehenen Familie, unweit Ilchester, in der Grafschaft Sommerset geboren [1]), machte schon in früher Jugend so glückliche Fortschritte in den Wissenschaften, dafs er die günstigsten Hoffnungen erregte. Er studirte in Oxford, begab sich hierauf nach Paris, kehrte, nachdem er

2) die schon oben genannte, von Hartmann in Nürnberg besorgte, vom Jahre 1542; 3) eine Pariser Ausgabe von Hamelius, von 1556.; 4) eine Italienische Uebersetzung von Paullus Galluccius, vom Jahre 1593. Weil aber die Hartmannsche Ausgabe keine andere, als die von Peckham ist, und bei den folgenden Optikern, namentlich bei Nicolaus Chesnecopherus, der, zur Erlangung der Magisterwürde, die erste optische Dissertation (*Isagoge optica cum disceptatione geometrica de universo geometriae magisterio. Francof.*, 1593.) schrieb, immer nur von einer *Perspectiva communis* die Rede ist, so unterliegt es keinem Zweifel, dafs alle jene Namen dem Peckham allein beigelegt sind.

1) Ich entlehne die folgenden Nachrichten aus der *Praef. ad Opus majus, ed. Jebb. Londini*, 1733.

hier die theologische Doktorwürde erhalten hatte, wieder in sein Vaterland zurück, und trat in Oxford, um desto sorgenfreier den Wissenschaften obliegen zu können, auf den Rath des Bischofs von Lincoln, in den Orden der Franziskaner. Anfänglich scheint ihn besonders die Philosophie beschäftigt zu haben. Selbst Aristoteles war damals von den Universitäten verbannt gewesen, nachdem Franciscus Gratianus die *Decreta canonica* im Jahre 1151. gesammelt, und der Pabst Eugenius III. befohlen hatte, dafs diese in den Hörsälen der Philosophie gelesen werden sollten. Dieser Befehl wird weniger befremden, wenn man erwägt, dafs man den Aristoteles damals fast nur aus den entstellenden Uebersetzungen der Arabischen Gelehrten kannte. Doch blieb glücklicherweise die Philosophie nicht lange von dieser Finsternifs bedeckt. Im Jahre 1230. übersetzte Michael Scotus einige, die Physik betreffende Abhandlungen des Aristoteles ins Lateinische, und regte dadurch ein so allgemeines Interesse, hauptsächlich unter den Dominikanern und Franciskanern, für das Lesen der Aristotelischen Schriften in der Ursprache an, dafs man bald hernach die Autorität des Aristoteles als entscheidend ansah. Doch beklagt sich Baco, dafs die Uebersetzer der Griechischen Sprache nicht kundig sein, dafs sie den Aristoteles nicht richtig verständen, und die Studirenden zum Dünkel verleiteten [1]). Er suchte sich

1) Er sagt unter anderen: *Si haberem potestatem super libros Aristotelis, ego facerem omnes cremari, quia non est nisi temporis amissio, studere in illis, et causa erroris, et multiplicatio ignorantiae, ultra id, quod valeat explicari. Vulgus studentum cum capitibus suis non habet, unde excitetur ad aliquid dignum, et ideo languet et asininat circa male*

daher vor allem eine gründliche und umfassende Kenntnifs der Sprachen zu erwerben, und verband mit der Lateinischen die Hebräische, Griechische und Arabische. Darauf ergab er sich ganz dem Studium der Mathematik, die er für die erste unter den Wissenschaften, die der Hauptschlüssel zu den Geheimnissen der Natur sei, hielt. Dafs er, mit solchen Kenntnissen ausgerüstet, Erfindungen machte, welche die Fassungskraft Anderer überstiegen, ist erklärlich; aber eben so erklärlich ist es auch, dafs er sich dadurch den Hafs und die Verfolgung der übrigen Mönche zuzog. Man wufste es dahin zu bringen, dafs ihm die Mittheilung seiner Lehren, an wen es auch sei, durch die Vorgesetzten seines Ordens untersagt wurde. Indefs konnte es einem so aufserordentlichen Manne, wie Baco es ist, nicht an Gönnern fehlen, unter denen auch der Kardinal, Bischof von Sabina, der päbstlicher Legat in England war, gewesen sein soll. Als dieser unter dem Namen Klemens IV. den päbstlichen Thron bestiegen hatte, übersandte ihm Baco im Jahre 1267. durch Johann von Paris, einen seiner geliebtesten Schüler, das *Opus majus*, nebst einigen anderen Abhandlungen, und selbst mehrere mathematische Instrumente, um ihn zu überzeugen, dafs es ihm nur um ein aufrichtiges Streben nach Wahrheit zu thun sei. Johann von Paris war von seinem Lehrer unterwiesen worden, dem Pabste alles, was in diesen Schriften dunkel sein könnte, zu erklären. Dieser soll sie auch mit Beifall aufgenommen, und den Baco seines Schutzes versichert haben. Doch nicht lange erfreute er sich der Gunst dieses mächtigen

translata, et tempus et studium amittit in omnibus, et expensas. Apparentia quidem sola tenet eos, et non curant, quid sciant, sed quid videantur scire coram multitudine insensata.

Gönners, der 1269. zu Viterbo starb. Er hatte unterdeſs selbst nicht einmal sein Kloster in Paris verlassen dürfen, ungeachtet man die freie Mittheilung seiner Lehren nicht länger völlig unterdrücken konnte. Zehn Jahre hernach, als Nicolaus III. Pabst war, kam Hieronymus von Esculo, der General des Franciskaner-Ordens, nach Paris, und sprach, auf den Rath vieler Geistlichen, das Verdammungsurtheil über die Lehren des Baco aus, erklärte den Verfasser des Buches *De nullitate magiae* für einen Zauberer, lieſs ihn in einen Kerker werfen, und bat den Pabst, was er gethan hätte, zu bestätigen. Als Hieronymus von Esculo unter dem Namen Nicolaus IV. zur päbstlichen Würde gelangt war, schrieb Baco an ihn, und übersandte ihm zugleich eine Abhandlung über die Mittel, die Krankheiten des Alters zu verhüten, um ihn von der Unschädlichkeit seiner Arbeiten zu überzeugen. Nichtsdestoweniger war ein strengeres Gefängniſs der Erfolg seiner Bitte. Erst nach dem Tode Nicolaus IV. erhielt er, auf die Verwendung einiger angesehenen Engländer, seine Freiheit wieder. Er kehrte nach England zurück, und starb zu Oxford, wahrscheinlich im Jahre 1294., in einem Alter von 78 Jahren.

Die Anzahl der Schriften Baco's, die sich auf die Grammatik, die Mathematik und Physik, Astronomie, Alchymie, Medicin, Geographie, Theologie und Philosophie beziehn, ist sehr groſs. Einen Theil derselben finden wir in dem schon genannten *Opus majus* [1]), dessen Titel sich auf ein anderes Werk, *Opus*

1) *Fratris Rogeri Bacon, ordinis minorum, Opus majus ad Clementem IV., pontificem Romanum, ex ms. codice Dublinensi, cum aliis quibusdam collato, nunc primum edidit S. Jebb. Londini,* 1733. Fol. 477 Seiten. Die Perspektiv, der Trak-

minus bezieht, das Baco gleichfalls, so wie ein *Opus tertium*, an Klemens IV. schickte. Der fünfte Theil des *Opus majus* handelt von der Perspektiv.

Die Perspektiv Baco's ist eben nicht durch wichtige Entdeckungen, oder durch Berichtigungen der Fehler seiner Vorgänger ausgezeichnet; höchst erfreulich aber ist der deutliche Vortrag seiner Untersuchungen im Allgemeinen, besonders auch über die Lage und Gröfse der Bilder, die durch Zurückwerfung und Brechung der Lichtstralen hervorgebracht werden. Die mathematischen Konstruktionen sind, im Geiste des Euklides, in ihrer Einfachheit überzeugend, und beweisen die grofse Ueberlegenheit, die Baco hierin vor seinen Vorgängern Alhazen und Vitello hatte. Er führt oft den Aristoteles, Euklides, Ptolemäus, Alhazen, Avicenna, Averroes, und das Buch des Constantinus *De oculo* an. Auch beruft er sich auf eine Abhandlung *De aspectibus* eines Arabischen Optikers Jacob Alkindi.

Eine Stelle in diesem Werke hat besondere Aufmerksamkeit erregt, weil mehrere Landsleute Baco's, namentlich Molyneux [1]) und Jebb [2]), aus derselben schliefsen zu können glaubten, dafs Baco der Erfinder des Fernrohres sei. Seine eigenen Worte sind diese: „*De visione fracta majora sunt; nam de facili patet per canones supradictos, quod maxima possunt apparere minima, et e contra, et longe distantia videbuntur propinquissime, et e converso.*

tat über die Spiegel, und die *Specula mathematica* waren schon früher von Johann Kombach, Frankfurt, 1614., herausgegeben.

1) *Treatise of dioptricks by William Molyneux. Lond.*, 1692. pag. 256.

2) *Praef. ad Opus majus.*

Nam possumus sic figurare perspicua, et taliter ea ordinare respectu visus et rerum, ut frangantur radii et flectantur, quorsumcunque voluerimus, et sub quocunque angulo voluerimus, ita ut videremus rem prope vel longe, et sic ex incredibili distantia legeremus literas minutissimas, et pulveres et arenas numeraremus propter magnitudinem anguli, sub quo videremus; et maxima corpora de prope vix videremus propter parvitatem anguli, sub quo videremus; nam distantia non facit ad huiusmodi visiones, nisi per accidens, sed quantitas anguli. Et sic posset puer apparere gigas, et unus homo videri mons, et in quacunque quantitate; secundum quod possemus hominem videre sub angulo tanto, sicut montem, et prope ut volumus, et sic parvus exercitus videretur maximus, et longe positus appareret, et e contra. Sic etiam faceremus solem et lunam et stellas descendere secundum apparentiam hic inferius, et similiter super capita inimicorum apparere, et multa consimilia, ut animus mortalis ignorans veritatem non posset sustinere" [1]). Doch dafs Baco, als er diese Stelle niederschrieb, das Fernrohr nicht gekannt habe, dafür sprechen bei näherer Prüfung mehrere Gründe. In den *Canones* [2]), auf welche er sich beruft, wird nirgends einer Linse, selbst nicht einmal des Glases erwähnt, auch wird der Gegenstand nicht jenseits des dichteren Mittels, sondern in demselben angenommen. Ferner spricht Baco von den Wirkungen des Teleskopes nicht, wie von einer durch die Erfahrung feststehenden Thatsache, sondern er stellt sie vielmehr als etwas Mögliches und

1) Pag. 357.
2) Pag. 348. und 349.

Wahrscheinliches hin. Auch sind die Eigenschaften, die er einem Teleskope beilegt, entweder völlig ungegründet, oder übertrieben; da es nicht wahr ist, dafs ein Mensch, durch ein Teleskop betrachtet, so grofs, wie ein Berg, ein kleines Heer ein sehr grofses u. s. w. zu sein scheine. Man müfste endlich den Baco, wenn man ihm die Erfindung des dioptrischen Fernrohres zuschreiben will, mit demselben Rechte auch für den Erfinder des Spiegel-Teleskopes halten. Denn im vorgehenden Kapitel sagt er [1]): „Durch die Reflexion kann ein Gegenstand unzählige Male gesehn werden, so wie man nach den Nachrichten des Plinius zugleich mehrere Sonnen und Monde gesehen hat. Dies erfolgt aber, wenn die Dünste sich wie ein Spiegel aufthürmen, und in verschiedenen solchen Stellungen vorhanden sind. Was aber die Natur schon bewirken kann, das kann die Kunst, die Vollenderinn der Natur, weit ehr zu Stande bringen, wefshalb denn auch Spiegel so eingerichtet und gestellt werden können, dafs ein Gegenstand so oft gesehn wird, als wir wollen; dafs wir also statt eines Menschen mehrere, statt eines Heeres mehrere erblicken werden. So könnte man zum Vortheil des Vaterlandes, oder zum Schrekken der Ketzer dergleichen Vorrichtungen treffen; und sollte jemand gar die Luft zu verdichten wissen, so dafs sie die Lichtstralen zurückwerfen kann, so würde man viele dergleichen ungewöhnliche Erscheinungen hervorbringen können. So glaubt man, dafs die Dämonen den Menschen Lager und Heere, und vieles Wunderbare zeigen; ja man könnte mit Hilfe der Spiegel das Verborgenste aus entlegenen Oertern in Städten und Heeren ans Licht bringen. Denn den

1) Pag. 356. und 357.

Drachen, der Thiere tödtete, und Menschen durch seinen Hauch vergiftete, hat der Philosoph Sokrates, nach dem Zeugnisse der Geschichte, in den Schlupfwinkeln der Berge entdeckt. Auf ähnliche Weise könnte man Spiegel auf Anhöhen gegen feindliche Städte und Heere aufrichten, so daſs man alles, was die Feinde thun, in jeder beliebigen Entfernung entdecken könnte." Wer aber mögte in diesen Worten etwas anderes finden wollen, als einen Beweis einerseits für die groſse Leichtgläubigkeit Baco's, die ihn selbst in den tiefsten Aberglauben versinken läſst; andererseits für seine lebhafte Phantasie, mit der er Erfindungen vorhersieht, die ihrer Natur nach unmöglich sind! Um viele andere Beispiele, die dies bestätigen würden, zu übergehn, führe ich nur noch an, daſs er die Möglichkeit, eine Flugmaschine zu bauen, mit welcher sich Menschen nach Art der Vögel erheben könnten, mit einer Zuversicht behauptet, als hätte er selbst Versuche der Art angestellt [1]).

Mit gröſserer Sicherheit, und weniger von seiner Phantasie verleitet, hat Baco den Nutzen der Augengläser vorhergesagt. Um seine eigenen Worte anzuführen, so spricht er sich darüber so aus: „*Si homo aspiciat literas et alias res minutas per medium crystalli, vel vitri, vel alterius perspicui suppositi literis, et sit portio minor sphaerae, cuius convexitas sit versus oculum, et oculus sit in aere, longe melius videbit literas, et apparebunt ei majores. Nam secundum veritatem canonis quinti de sphae-*

1) *De secretis naturae et artis, et nullitate magiae. Paris*, 1542. Seine eigenen Worte sind: *Possunt etiam fieri instrumenta volandi, ut homo sedens in medio instrumenti, revolvens aliquid ingenium, per quod alae artificiales aerem verberent ad modum avis volantis etc.*

rico medio, infra quod est res vel citra ejus centrum, et cuius convexitas est versus oculum, omnia concordant ad magnitudinem, quia angulus major est, sub quo videtur, et imago est major, et locus imaginis est propinquior, quia res est inter oculum et centrum, et ideo hoc instrumentum est utile senibus, et habentibus oculos debiles. Nam literam quantumcunque parvam possunt videre in sufficienti magnitudine. Si vero sit portio major sphaerae vel medietas, tunc secundum canonem sextum accidit majoritas anguli, et majoritas imaginis, sed propinquitas deest, quia locus imaginis est ultra rem, eo quod centrum sphaerae est inter oculum et rem visam, et ideo non ita valet hoc instrumentum, sicut si esset minor portio sphaerae, et instrumenta planorum corporum crystallinorum secundum primum canonem de planis, et sphaericorum concavorum secundum primum canonem et secundum de sphaericis, possunt facere hoc idem. Sed inter omnia portio minor sphaerae, cuius convexitas est versus oculum, evidentius ostendit magnitudinem propter tres causas simul aggregatas, ut notavi." Es geht aber nur zu deutlich aus diesen Worten hervor, dafs Baco auch hier nicht aus der Erfahrung spreche. Er würde sonst nicht, von Vitello verleitet, zweimal behauptet haben, dafs die Buchstaben, durch das kleinere Kugelsegment betrachtet, gröfser, als durch das gröfsere erscheinen; er würde sich ferner nicht auf jene *Canones* berufen haben, in denen der Gegenstand immer innerhalb des dichteren Mittels angenommen wird, indem z. B. in dem ersten *Canon de planis* nichts anderes, als die Vergröfserung eines im Wasser befindlichen Gegenstandes aus der, durch die Brechung veränderten Richtung der Stralen er-

klärt wird; er würde endlich nicht, wie Alhazen, verlangt haben, dafs man das Kugelsegment unmittelbar auf die Buchstaben lege, und die konvexe Seite jedesmal gegen das Auge kehre. Offenbar hat Baco, was er hier sagt, aus Alhazen und Vitello entlehnt, die beide schon, wie wir wissen, die vergröfsernde Kraft gläserner Kugelsegmente behauptet hatten.

Es unterliegt hiernach keinem Zweifel, dafs der Gebrauch der Augengläser bis zu der Zeit Roger Baco's hin unbekannt war. Die Stellen in den Schriften der Alten, welche auf eine Bekanntschaft mit dem Nutzen der Augengläser hindeuten sollen, sind entweder — kaum mögte man es glauben, dafs eine zu voreilige Verehrung gegen die Kultur dieser Völker so weit getrieben werden könne — geradezu ersonnen, oder unrichtig aufgefafst worden. So führt Guido Pancirollus [1]) eine Stelle: *Cedo vitrum, necesse est conspicilio uti*, aus dem Plautus an, die nirgends bei diesem Schriftsteller zu finden ist. Beim Plinius kommt allerdings das Wort *Specillum* vor [2]), jedoch in einer solchen Verbindung, dafs man dabei an nichts weniger, als an ein Augenglas denken darf. Er spricht nämlich von plötzlich eingetretenen Todesfällen, die zuweilen Personen bei der Arbeit überrascht hätten, und führt unter mehreren Beispielen auch dieses an: „*C. Julius medicus* (*exspiravit*), *dum inungit, specillum per oculum trahens.*"

Die erste, sich auf die Augengläser beziehende Nachricht, die keinen Zweifel übrig läfst, dafs sie auf der Erfahrung beruhe, ist vom Jahre 1299. Sie steht

1) *Nova reperta. Francof.*, 1622., pag. 650., tit. XV. *de conspicillis.*

2) *Hist. nat.*, VII, 53.

in einem Manuscripte, das ein gewisser Redi besafs [1]), und lautet folgendermaafsen: „*Mi truovo così gravoso di anni, che non avrei valenza di leggere e scrivere senza vetri appellati okiali, truovati novellamente per la commodità delli poveri veki, quando affiebolano del vedere*,“ d. h. „Ich finde mich so beschwert vom Alter, dafs ich ohne die sogenannten Augengläser, die vor kurzem zum Vortheile der armen Alten, deren Gesicht blöde wird, erfunden sind, weder lesen, noch schreiben könnte.“ Seitdem ist in mehreren Schriften aus dem Anfange des vierzehnten Jahrhunderts von Augengläsern die Rede. In dem *Lilium medicinae*, einem von Bernhard Gordon, einem Arzte in Montpellier, der um das Jahr 1305. starb, geschriebenen Werke, wird eine Augensalbe mit den Worten empfohlen: „*Est tantae virtutis, quod decrepitum faceret legere litteras minutas sine ocularibus*“ [2]). Auch macht Jordan di Rivalto aus Pisa in einer der Predigten, die er um das Jahr 1305. verfafste, auf die so nützliche Erfindung der Brillen aufmerksam, und fügt hinzu, es sei dieselbe erst neu, und kaum zwanzig Jahre alt [3]). Eben so werden in der *Chirurgia magna* des Guido de Gauliaco Augengläser, als ein sicheres Mittel gegen schwache Augen empfohlen [4]).

Wie der Künstler, der zuerst Alhazen's Ge-

1) Robert Smith in der Uebersetzung von Kästner. Altenburg, 1755. Seite 377.

2) *Lugd.*, 1491, pag. 140.

3) *Vocabolario degli accademici della Crusca* unter dem Worte *Occhiale*. Ferner: *Menage le origini della lingua Italiana* unter *Occhiali del Galilei*.

4) In der Ausgabe von *Laurentius Joubertus*. *Lugd.*, 1585., pag. 315. *Et si ista non valent, ad conspicilia vitri seu becyclos est recurrendum.*

danken ausführte, und das erste Augenglas zu Stande brachte, geheifsen habe, ist zweifelhaft. Nach einer Grabschrift, die früher in der Kirche Maria Maggiore in Florenz stand [1]), müfste man den Florentiner Salvino degli Armati für den Erfinder der Brillen halten. Sie lautet so: „*Qui giace Salvino degli Armati di Firenze, inventore degli occhiali. Dio gli perdoni le peccata. MCCCXVII.*", d. h. „Hier liegt Salvino degli Armati aus Florenz, der Erfinder der Augengläser. Möge Gott ihm die Sünden verzeihn." Eine Chronik in der Bibliothek der Predigermönche in Pisa, in der die Worte vorkommen [2]): „*Frater Alexander de Spina, vir modestus et bonus, quaecunque vidit aut audivit facta, scivit et facere. Ocularia ab aliquo primo facta et communicare nolente, ipse fecit et communicavit corde hilari et volente*", steht hiermit wenigstens nicht im Widerspruche, da gesagt wird, dafs Alexander de Spina nicht der erste Erfinder der Brillen gewesen sei. Dieser Mönch aber starb im Jahre 1313. So viel wenigstens ist nach allem diesen nicht zu bezweifeln, dafs die Erfindung der Augengläser in das Ende des dreizehnten Jahrhunderts zu setzen sei, und dafs die ersten Brillen in Italien gemacht wurden.

Unter den übrigen Erfindungen, die man dem Roger Baco beizulegen pflegt, wird auch die des Schiefspulvers genannt. Dafs er die Kraft des Salpeters, ein Getöse, stärker, als das des Donners, hervorzubringen, gekannt habe, geht allerdings aus einer Stelle des *Opus majus* deutlich hervor. Man wufste damals das Interesse der Machthaber für die Wissen-

1) Volkmann's Nachrichten von Italien, Bd. 1., Seite 542.
2) *Moréri le grand dictionnaire historique* unter Spina, aus *Jaques Spon recherches curieuses d'antiquité.*

schaften durch nichts sicherer zu gewinnen, als durch die Vorhaltung der Vortheile, die eine Erfindung im Kriege zum Nachtheile der Feinde gewähren könnte; eine Behauptung, die auch durch die Umstände, welche die Erfindung der Teleskope begleiteten, bestätigt wird. So giebt denn auch **Baco** mehrere Vorrichtungen an, durch welche man den Feind aus der Ferne vernichten könne. „Ein Erdharz, Maltha genannt", sagt er[1]), „das in grofser Menge gefunden wird, verbrennt den Krieger, auf den man es wirft. Eben so verbrennt citronenfarbiges Steinöl (*oleum citrinum petroleum*), auf die erforderliche Weise zubereitet, alles, womit es in Berührung kommt. Dies Feuer aber kann durch Wasser nicht gelöscht werden. Andere Dinge wieder machen ein solches Getöse, dafs es plötzlich und bei Nacht, mit der gehörigen Vorsicht hervorgebracht, weder von einer Stadt, noch von einem Heere ertragen werden kann. Selbst das Getöse des Donners kann dadurch übertroffen werden. Andere Dinge blenden so das Gesicht, dafs die Blitze dies ohne Vergleich weniger thun. Als Beispiel führe ich das bekannte Spielwerk der Knaben an, welches man aus jenem Salze, das Salpeter genannt wird, von der Gröfse eines Daumens macht. Durch das Zerreifsen einer so geringfügigen Sache, wie des Pergamentes, das den Salpeter umgiebt, wird ein so furchtbares Getöse hervorgebracht, dafs es das eines starken Donners, und dafs der Glanz seines Lichtes den heftigsten Blitz übertrifft." Das Pulver ist aber entschieden schon vor **Roger Baco** bekannt gewesen. Die Universität Oxford besitzt ein Manuscript, *Liber ignium*, aus dem neunten Jahrhunderte, dessen Verfas-

1) Pag. 474.

ser ein Grieche, Namens Marcus, ist, in welchem bereits die Zusammensetzung des Pulvers angegeben wird [1]). Doch führe ich diese Umstände, die meinem Zwecke fremd sind, nur beiläufig an. Auch ist hier nicht der Ort, der Verdienste des Baco um die Astronomie ausführlicher zu gedenken. Jebb urtheilt darüber so günstig, dafs er behauptet, man habe bei der Einführung des Gregorianischen Kalenders besonders die Vorarbeiten Baco's benutzt.

Als Entdecker neuer optischen Gesetze tritt Baco in dem *Tractatus de speculis* auf. Zum ersten Male wird hier die Lage des Brennpunktes der Hohlspiegel richtig angegeben. Er findet ihn nicht genau in der Mitte des Spiegelhalbmessers, sondern so liegend, dafs seine Entfernung vom geometrischen Mittelpunkte des Spiegels etwas gröfser ist, als die vom Pole (dem optischen Mittelpunkte) desselben, und dafs jene Entfernung um so mehr von dieser abweicht, je weiter entfernt vom Pole die Stralen einfallen. Befremdend ist es, dafs man zu diesem so folgereichen, und doch so einfachen Satze erst damals gelangte, nachdem man viel verwickeltere Gesetze in der Mechanik des Lichtes schon längst entdeckt hatte; aber noch mehr mufs es auffallen, dafs sich die Optiker bis zur Mitte des siebzehnten Jahrhunderts über die Lage des Brennpunktes nicht vereinigen konnten, und dafs man Porta's Behauptung, es könne der Brennpunkt ohne merklichen Fehler in die Mitte des Spiegelhalbmessers gesetzt werden, hartnäckig bestritt.

Diese Abhandlung ist noch durch eine andere, höchst merkwürdige Entdeckung ausgezeichnet. Baco

1) *Supplément au dict. de Bayle par Chaufepié* unter Roger Baco.

beweist hier nämlich den Satz, dafs nur die in einem Kreise um den Pol eines sphärischen Spiegels einfallenden Stralen nach demselben Punkte der Achse reflektirt werden, dafs es also unzählig viele Vereinigungspunkte der Stralen gebe. Er ist daher als derjenige Optiker anzusehn, der zuerst das Vorhandensein der sogenannten Längenabweichung der sphärischen Spiegel bewiesen hat [1]).

Baco findet beide Sätze, nach der Sitte seiner Zeit, durch geometrische Deduktionen; kürzer führt die analytische Methode zum Ziele. Es sei (Fig. 2.) BAB ein sphärischer Hohlspiegel, A das optische, C das geometrische Centrum. Aus einem Punkte D der Achse falle ein Stral DM, welcher mit derselben den Winkel w bildet, auf den Spiegel, und werde nach E reflektirt; DC werde mit k, CE mit x, der von dem Halbmesser $CM = r$, und der Achse gebildete Winkel ECM mit v bezeichnet, und aus M ein Loth MN auf die Achse gefällt. Alsdann ist

$$MN = r \sin v$$

$$CN = r \cos v$$

$$r : x = \sin (2v - w) : \sin (v - w)$$

$$x = \frac{r \sin v - r \cos v \cdot \tang w}{\sin 2v - \cos 2v \cdot \tang w}$$

und, wenn man hieraus $\tang w$ mittelst der Gleichung

$$\tang w = \frac{MN}{DN} = \frac{r \sin v}{k + r \cos v}$$

eliminirt,

1) Eine bloſse Andeutung der Längenabweichung finden wir schon, wie ich bei Archimedes bemerkt habe, in dem von Antonius Gogava übersetzten *Libellus de speculo comburenti, concavitatis parabolae.* Auch Vitello deutet (Lib. VIII, 68.), freilich sehr unklar, die Längenabweichung der sphärischen Hohlspiegel an.

$$x = \frac{kr}{2k \cos v + r}.$$

Setzt man hierin $k = \infty$, die Stralen also parallel mit der Achse einfallend, so wird

$$x = \frac{r}{2 \cos v},$$

durch welche Formel der erste jener beiden Sätze bewiesen ist, indem x um so gröfser wird, je mehr der Winkel v wächst, und eigentlich nur für eine unendlich kleine Apertur des Spiegels die Brennweite $= \frac{r}{2}$ wird.

Bezeichnet man ferner den gröfsten Werth von v, wenn M am Rande des Spiegels liegt, mit v', und ist CG der hiermit zusammenhängende, CF aber der zu $v = 0$ gehörige Werth von x, so hat man

$$FG = \frac{kr}{2k \cos v' + r} - \frac{kr}{2k + r}$$

$$= \frac{2k^2 r (1 - \cos v')}{(2k + r)(2k \cos v' + r)}$$

$$= \frac{4k^2 r \sin^2 \frac{v'}{2}}{(2k + r)(2k \cos v' + r)},$$

eine Formel, aus der nicht allein, was Baco zeigt, das Vorhandensein einer Längenabweichung FG, sondern zugleich ihre Gröfse hervorgeht. Sie wird in zwei Fällen Null, wenn entweder k, oder $v' = 0$ ist, d. h. wenn der leuchtende Punkt im geometrischen Centrum liegt, oder der Spiegel eine unendlich kleine Apertur hat. Ist die Entfernung des leuchtenden Punktes merklich gröfser, als die des geometrischen Mittelpunktes, d. h. darf man r als verschwindend gegen k ansehn, ein Fall, der bekanntlich in der An-

wendung ausschliefslich vorkommt, so wird die Längenabweichung

$$FG = \frac{r \sin^2 \frac{v'}{2}}{\cos v'}.$$

Eine dritte Schrift Baco's, seine *Specula mathematica*, steht nur in entfernter Beziehung zur Optik, da er hier besonders die Absicht, die Mathematik als die Grundlage für jede wissenschaftliche Spekulation darzustellen, offenbart. Die Mathematik ist ihm nicht blofs defshalb die erste unter allen Wissenschaften, weil sie der Seele angeboren ist, und nicht erst von aufsenher in dieselbe aufgenommen werden darf, sondern es mufste ihn auch seine Ansicht über das Entstehn aller Dinge auf die grofse Herrschaft der Mathematik über alles Sinnliche und Uebersinnliche leiten. Er nimmt gewisse geistige, unmittelbar von Gott ausgehende Kräfte und Tugenden an, die ihre Wirksamkeit an der Materie zu äufsern streben. Das durch diese Kräfte Bewirkte nennt er ein Gleichnifs, ein Bild, ein Abbild, das sich durch neue Abbilder ins Unendliche zu vervielfältigen strebt [1]). Solche Urkräfte setzt er aber nicht blofs im Bereiche des Moralischen, sondern auch in der physischen Natur voraus. So hält er das Licht der Sonne für eine Urkraft, die ein Bestreben hat, ihre Wirksamkeit in der Luft auszuüben, und durch Abbilder, denen wieder die Intention, sich zu vervielfältigen, eigen ist, und deren Wirkungen man daher in späterer Zeit inten-

1) *Omne efficiens agit per suam virtutem, quam facit in materiam subjectam, ut lux solis facit suam virtutem in aere quae est lumen diffusum per totum mundum a luce solari. Et haec virtus vocatur similitudo, et imago, et species et multis nominibus.*

tionelle Bilder nannte, die ganze Welt zu erleuchten. Da also alles, was ein Dasein hat, durch Tugenden wirksamer Wesen hervorgebracht wird, die erzeugten Wirkungen aber mathematisch bestimmbar sind, ja selbst die Wahrheit des Wirkenden und der Materie nicht ohne die Mathematik erkannt werden kann, so findet Baco besonders auch hierin einen Grund, dieser Wissenschaft die erste Stelle einzuräumen. Defshalb untersucht er denn auch in dieser Abhandlung die Vervielfältigung der physischen Urkräfte nach Linien, Winkeln und Figuren. Eine Vervielfältigung des Sonnenlichtes findet er z. B. in der Vereinigung unzähliger Lichtstralen, nachdem sie in einer gläsernen Kugel zweimal gebrochen sind, wobei er den Weg, den sie durch die Kugel nehmen, zwar richtig angiebt, aber die Brennweite nicht bestimmen kann. Was er im ferneren Verlaufe dieser Schrift über die Ebbe und Fluth, über die Bewohnbarkeit der Erdzonen u. s. w. anführt, zeigt uns die physikalische Geographie noch in ihrer ersten Kindheit. Seine Gedanken über die scheinbare Gröfse der Sonne und des Mondes im Horizonte, und über die astronomische Stralenbrechung habe ich schon bei Ptolemäus erörtert.

Wenn man den Namen Roger Baco's den ausgezeichnetsten aller Zeiten beigesellt hat, so ist dies mit um so gröfserem Rechte geschehn, da er allein aus jener dunkelen Zeit, die erst zwei Jahrhunderte später erhellt zu werden anfing, als glänzender Stern zu uns herüberstralt; wozu kommt, dafs uns auch die Gesinnung dieses durch so viele Kränkungen geprüften Mannes, wie sie uns aus jeder Zeile seiner Schriften entgegentritt, mit hoher Achtung gegen ihn erfüllen mufs. Frei von jener Sucht nach Geheimnissen,

von der seine Nachfolger befangen sind, theilt er seine Plane mit, um Anderen den Weg zu bahnen; gegen jede fremde Autorität, sobald er sie nur in redlichem Streben nach der Wahrheit begriffen findet, zeigt er sich schonend; ja selbst die aufgeblasene Unwissenheit hatte an ihm einen mehr durch Belehrung zurechtweisenden, als durch rücksichtslosen Spott erbitternden Gegner. Wie viel würden die Wissenschaften diesem seltenen Talente zu verdanken gehabt haben, wenn ihm eine freiere Entwickelung vergönnt gewesen wäre!

Antonius Thylesius.

In der ersten Hälfte des sechszehnten Jahrhunderts.

Die Zeit, in der das politische und litterarische Leben der Europäer durch eine allgemeinere Verbreitung der vier wichtigsten Erfindungen, die je gemacht wurden, des Schiefspulvers, der Buchdruckerkunst, des Leinenpapiers und des Kompasses, eine neue Gestalt gewann; diese Zeit des vierzehnten und funfzehnten Jahrhunderts geht an unserer Wissenschaft beinahe spurlos vorüber. Was in den Schriften einiger Naturbeschreiber beiläufig über die Optik gesagt wird, ist so gehaltlos, dafs es in der Geschichte dieser Wissenschaft keine Stelle verdient. Des Vincentius Bellovacensis *Speculum naturale* [1]), des Bartho-

1) *Venetiis*, 1494. Fol. 424 Seiten in 32 Büchern. Im zweiten Buche kommt die Reihe auch an das Licht und die Farben. Vincentius ist in Beauvais in der Mitte des dreizehnten Jahrhunderts geboren.

lomäus Glanvil[1]) Naturbeschreibung, *De proprietatibus rerum*, nenne ich blofs, um die in der Entwickelung unserer Wissenschaft eingetretene Lücke nicht ganz unausgefüllt zu lassen.

Schon in die erste Hälfte des sechszehnten Jahrhunderts reicht des Antonius Thylesius[2]) Büchelchen *De coloribus* herüber, in welchem er auf die Unbestimmtheit der Farbennamen überhaupt, besonders auch bei den Römern, aufmerksam macht, und hier vorzüglich die Etymologie zu beachten empfiehlt. Mit Uebergehung der Beispiele, die er aus der alten Litteratur entlehnt, will ich blofs den Unterschied, den er zwischen den verschiedenen Farbenbenennungen macht, angeben:

1) *Coeruleus, dictus quasi coeluleus, proprie color est coeli, sed sereni. Sed quoniam coerulei quaedam species est paene nigra, id quod Indicum dicitur, idcirco pro tristi nonnunquam capitur. Sine ulla dubitatione, quod nos coeruleum, Graeci dicunt cyaneum, in quorum etiam commentariis lazurion invenio. Adscribitur huic generi, qui Venetus olim, nunc vulgo blavus nuncupatur color.*

2) *Caesius. Existimo, sicut Caesar et Caeso dicuntur a caedendo, ita caesium a caede nominatum esse, ut, qui caesius sit, caedem quodammodo ocu-*

1) Zum Franciskaner-Orden gehörig, lebte er in der zweiten Hälfte des vierzehnten Jahrhunderts. In der Ausgabe *Argentorati*, 1505., kommt im achtzehnten Buche etwas über die Farben vor.

2) Er ist in Cosenza in Unteritalien geboren, und wird unter den berühmteren Rednern und Poeten jener Zeit genannt. Sein *Libellus de coloribus* steht unter anderen in *Jacobi Gronovii thesaurus antiquitatum Graecarum. Lugd. Bat.*, 1701. pag. 714. bis 722.

lis minari videatur; qualis praelio gaudens et caede dicitur fuisse Minerva, ex quo illa ab antiquis vocata fuit, ut ego arbitror, caesia. Dicitur color hic Graece ab omnibus glaucus, quod verbum longo jam usu Latini poetae suum fecerunt. Latius tamen patet glaucus; nam praeter oculos noctuinos, quos, ut avis ipsius Graecum nomen declarat, omnes glaucos esse confirmant, multa quoque dicuntur glauca, ut ulva palustris herba, ut salix, cuius quum frondes, tum multo magis cortex in ramis, praesertim anniculis, nitet hoc colore. Castaneae etiam nucis tunica, aliaque multa, praeter leonis ac noctuae oculos, colorem glaucum ostendunt. Sed ut, unde discessi, redeam: quando caesius color tantum est oculorum, videndum est, ne is sit potius, quem Aristoteles charopon vocat. Sic enim ab illo dicitur leo ab oculorum saevitia, quem Catullus, poeta doctissimus, caesium appellat. Unde Hercules cognomento dictus fuit charops, quasi iracunde intuens. Nam chara Graece, ira quoque dicitur Latine; et ex eodem, ut puto, horrore Charybdis nominata est, et Charon.

3) *Ater. Horribilis etiam color est ater dictus, omnino velut anthrax, id est carbo: nam proprie est carbonis exstincti. Differt in hoc a colore nigro, quod, ut omnis ater est niger, sic non omnis niger est ater. Horrendus est hic, tristis, visu injucundus, lugentibus accommodatus, ille contra nonnunquam lepidus ac venustus. Ut humani oculi sunt complures, quos nemo atros diceret, sed nigros, iisque tamen nihil majori cum voluptate spectamus. Vocabatur autem ater ab antiquis etiam anthracinus, idemque furvus, quibus longe minus sunt nigri lividus et fuscus. Alter ex gravi corpo-*

ris ictu proveniens deformitatem habet, unde invidi aliorum bonis, velut verberibus laniati, et idcirco exsangues, lividi nuncupantur. Alter non insuavis, et in homine persaepe laudatur. Qui tamen, si modum excedit, ac maxime fuscus est, et quasi nigrescit, pressus dicitur, ut quae aliquamdiu sub prelo vestis pressa nimium coloratur. Aquilum veteres hunc fuscum a colore aquae vocarunt, qui inter nigrum est et album, id quod Plato etiam docet.

4) *Albus. Est autem albus color purissimus, quocirca ad animum translatus pro sincero capitur. Sumitur pro pallido, unde timor albus legitur, et metu exalbuit. Elucet candidus, atque oculos delectat. Itaque Veneris humeros recte dixeris candidos vel candentes. Ferrum, quod a marito tunditur, non candidum est, sed candens. Ejusdem generis est canus, qui etsi ad alia transfertur, proprie tamen est capilli et barbae senilis. Nascitur equus nonnunquam canus atque albineus, non idem, qui et candidus aut albus, sed huius non expers. Est et color albi nigrique particeps, a Graecis inde leucophaeus, voce jam a nostris usurpata, vocatus.*

5) *Pullus. Qualis vero sit pullus, ostendit terrae ipsius color: major enim illius pars pulla est. Itaque quoniam ea mortuis injicitur, voluerunt veteres, ut, qui lugerent, pullis palliis, terrae similibus, essent amicti. Dorsum etiam leporinum proprie est pullum. Idem quoque Hispanus vocatus est et Baeticus, etiam Mutinensis. Est autem pullus nomen, ut reor, diminutivum a puro, ut lana pulla sit pura, nullo alio colore infecta. Sunt huic pullo simillimi color impluviatus, di-*

ctus velut fumato stillicidio impluvius, *et suasus*, *qui insuasus quoque vocatus*, *lutum refert. Est autem suasus e stillicidio etiam factus fumoso in vestimento albo.*

6) *Ferrugineus. Ferrum longo situ rubiginosum facile ostendit colorem, ab ipso appellatum ferrugineum. Erat is quoque lugentium color; itaque capitur nonnunquam et ipse pro funesto.*

7) *Rufus. Non eundem esse rufum atque rubrum, ex hoc intelligi potest, quod recte dicitur sanguis ruber, rufus non recte. Rursus barbam et capillum aenobarbi rubrum veteres non dixerunt, sed modo rufum, rutilum modo, qui idem est. Quin et canes immolabant Romani sacerdotes, nunquam rubras vocatas, sed quas nunc rufas, nunc rutilas appellabant, ad placandum caniculae sidus, frugibus inimicum. Ex quo manifestum est, rufum rutilumque eundem esse, id quod ex antiquis etiam aliqui docent. E canis igitur colore satis noto, atque e multorum barba et capillo, cuiusmodi sit color rufus, apparet. Hunc rustici in armentis robum gilvumque olim dixerunt, atque etiam helvum, ut vini genus est quoddam inter rufum albumque, nulli non cognitum: quod quoniam cerasi colorem refert duracini, cerasolum aliqui dicunt Italiae populi. Sed et burrham iidem appellabant vitulam, quae rostro est rufo. At homo burrhus est, qui pransus, cibo et potione rubet: hunc aliqui etiam rubidum vocant. Invenio et rubeus, etsi aliqui non indocti vocem non esse Latinam monuerint, cum tamen apud auctores non malos ex uvis nigris fieri vinum forte legatur, e rubeis autem suave, nec non bos rubeus probetur. Verbum est omnino rusticum, nec prorsus idem color est, qui et*

ruber, sed ad eum proxime accedit. Quid quod russeus etiam legitur? Negat quidam e vetustis grammaticis dici posse; russum jubet, ex quo pannus est russatus. Utrumque certe Latinum est, sed aratoris magis, quam oratoris. Habent enim et sua verba, qui ruri vivunt, urbanis nonnullis inaudita. Russeum equum dicunt illi, qui non plane russus est, sed aliquanto minus ruboris habens: idem fere videtur. Hic autem, quoniam quasi cruentato similis est, hodie saginatus, quasi sanguinatus vulgo nominatur, quamvis huius nominis nonnunquam equi albescant.

8) *Ruber. Rubrum maxime indicat animantium sanguis, et quo lana inficitur, coccus. Ostentat tamen hunc colorem prae caeteris rebus liquor purpurae, cuius adeo gratus est color, ut si quid paululum habeat ruboris, modo visu sit illud non injucundum, purpureum saepe dicatur, ut sunt violae, et varia florum genera. Invenitur et blatteus positus pro purpureo. Non praetereundus est color, viteis frondibus arefactis simillimus, et idcirco xerampelinus Graece dictus.*

9) *Roseus. Jucundissimus omnium est color roseus, atque humano corpori, si id formosum est, quam simillimus. Itaque os, cervicem, papillas, digitos roseos poetae dicunt, isque color proprie est, quem communis sermo incarnatum vocat.*

10) *Puniceus. A Phoenicibus color Phoeniceus, Puniceus quoque dictus flagrat, velut viola flammea, atque ita a multis olim purpura vocata fuit violacea. Hodie paene nomen servat, nam Paonacius quasi puniceus dicitur, etsi aliqui vocem hanc vernaculam a pavonis colore factam volunt. Phoeniceum vero, alium ab hoc, palma (quae phoe-*

nix Graece est) a se nominavit. Color hic in equo, ut jam diximus, maxime laudatur, qui modo spadiceus, baius modo, badius etiam et balius, variis nominibus vocatus est. Termites enim palmarum cum fructu spadices, et baia Graeci dicunt: unde equus ab equisonibus appellatur baius.

11) *Fulvus. Ex omnibus maxime lucet fulvus, quem multa jactant, orichalcum in primis, aurum, ipsaeque etiam stellae. Quare Tibullus proprie sidera fulva appellavit. Est et aureolae species arenae, quam fulvam dixit Virgilius, et genus quoddam aquilae, ab Aristotele maxime celebratum, colore etiam fulvo. Qui si obtusus quodammodo est, atque obscuratus, vocatur ravus. At luteum nihil aeque ostentat, ac flos calthae et genistae, ovique etiam vitellus. Croceo est hic perquam similis, sed lucidior aliquanto, ab antiquis flammeus quoque dictus, quoniam eo flaminis uxor flaminica utebatur. Potest hoc loco pallidus poni, ac luridus. Mortui color est hic horribilis, ipsiusque mortis, ut poetae dicunt, et Plutonis.*

12) *Viridis. Cuiusmodo sit color viridis, suppeditat exemplum herbarum multitudo, quarum tanta est varietas, ut cum earum vis sit infinita, nulla tamen aeque, atque ex iis aliqua prorsus vireat, sed omnes inter se discolores videantur, id quod in reliquis omnibus coloribus apparet. Quare si minus est hic albus aut niger, quam ille, non idcirco nomen albi amittit, aut nigri. Egregius est inter colores, qui virent, prasinus, multorum carminibus collaudatus.*

So wenig auch diese Abhandlung ihren Gegenstand erschöpfen mag, so habe ich sie schon deſshalb, weil man hier die gebräuchlicheren Römischen

Farbennamen zusammengestellt findet, nicht ganz übergehn zu dürfen geglaubt.

Hieronymus Cardanus.

Geb. 1501., gest. 1575.

Zu den optischen Schriftstellern gehört Hieronymus Cardanus durch sein Werk *De subtilitate*, in welchem das vierte Buch *De luce et lumine* [1]) überschrieben ist. Mit Flüchtigkeit, und gerade die schwierigsten Aufgaben nur berührend, mengt Cardanus hier astronomische, meteorologische und optische Gegenstände ohne allen Plan durch einander. Was die Entstehung des Regenbogens und der Farben betrifft, so beschränkt er sich auf die, uns schon bekannten Erklärungen. Auch was er in wenigen Zeilen über die Namen einiger Farben, und ihren Unterschied sagt, steht der gründlicheren Arbeit des Thylesius bei weitem nach. Eben diese Flüchtigkeit, die man in dem ganzen Buche bemerkt, gab dem streitsüchtigen Julius Cäsar Scaliger Veranlassung, in einem Buche [2]) von einem beinahe eben so grofsen Umfange, zu zeigen, wie viel genauer und gründlicher Cardanus hätte zu Werke gehn sollen. In welchem Geiste übrigens Scaliger diese Streitschrift, im Betreff der Optik, geschrieben hat, kann man daraus hinreichend beurtheilen, dafs er den Platonischen Hypothesen anhängt, und diese gegen Cardanus geltend macht.

1) Die Wörter *Lux* und *Lumen* werden so unterschieden: *Lumen est lucis imago in corpore perspicuo.*

2) *Julii Caesaris Scaligeri de subtilitate ad Cardanum exercitationes* 365. *Francof.*, 1607.

Bernhardinus Telesius.

Geb. 1508., gest. 1588.

Bernhardinus Telesius ist der Verfasser eines Büchelchens *De colorum generatione* [1]), worin er die Autorität des Aristoteles, im Gebiete der Optik, angreift, und seine eigenen Ansichten über die Entstehung der Farben mittheilt. Er verwirft die Aristotelische Lehre von den vier Elementen, und sieht zwei unwägbare Stoffe, die Wärme und Kälte, als die alles wirkenden, und die an sich todte Materie belebenden Urkräfte an. Defshalb soll denn auch die Wärme die Ursache der weifsen Farbe, die Kälte aber die der schwarzen sein. Aristoteles habe daher Unrecht, wenn er noch eine dritte Grundfarbe, die gelbe beim Sonnenlichte, annehme. Die Entstehung aller übrigen Farben aber erklärt Telesius, so wie Aristoteles, durch eine grössere oder geringere Trübung des von Natur weifsen Lichtes.

Man sieht hieraus, dafs Telesius kein anderes Verdienst um die Optik, als dieses hat, gegen die Unfehlbarkeit des Aristoteles in diesem Gebiete des Wissens zuerst Zweifel erhoben zu haben; ein Verdienst, das freilich um so gröfser ist, je heftiger die Verfolgungen waren, denen er sich nicht allein durch die genannte Schrift aussetzte, sondern noch mehr durch sein, damals beispielloses Unternehmen, einen Verein von Gelehrten unter dem Namen einer *Academia Telesiana* oder *Consentina* zu stiften, der es als seine Hauptbestimmung ansah, die Irrthümer des Aristoteles aufzudecken.

1) *Neapoli*, 1570. 12 Oktav-Seiten.

Johann Baptista Porta.

Geb. 1543., gest. 1615.

Von den Winkelspiegeln — Den Brennpunkt eines Hohlspiegels kann man für Stralen, die in der Nähe der Achse einfallen, ohne merklichen Fehler in den Mittelpunkt des Halbmessers setzen — Beschreibung der *Camera obscura*, deren Erfinder Porta ist — Mit Unrecht hat man ihn für den Erfinder des Holländischen Fernrohres gehalten — Angabe des Weges, den das Licht in gläsernen Linsen nimmt — Die Ursache des Blinkers der Sterne liegt in den Dünsten der Atmosphäre, welche das von den Sternen kommende Licht aufhalten und zerstreuen — Die Erweiterung oder Verengerung beider Pupillen zugleich ist von der Stärke des Lichtes abhängig — Das Sonnenlicht ist farbenlos, und die Zahl der Farben im Regenbogen unbestimmbar.

Porta hat, nach seiner eigenen Versicherung [1]), schon im funfzehnten Jahre seines Alters die *Magia naturalis* geschrieben, ein Buch, das so allgemeinen Beifall fand, dafs es in mehrere Sprachen, ins Italienische, Französische und Spanische übersetzt wurde [2]). Durch diesen Erfolg aufgemuntert, machte er Reisen durch Italien, Frankreich und Spanien, um seine Kenntnifs der Natur zu erweitern, und die schnell auf einander folgenden Auflagen jenes Werkes immer vollkommener einzurichten. Viel gesteht er auch einer „Akademie der Geheimnisse", die er in seinem eigenen Hause errichtet hatte, zu verdanken. Durch diese Unternehmung aber erregte er den Verdacht des Römischen Hofes um so mehr, da er hier als Magier und Giftmischer angeklagt war. Ein Franzose

1) Ich entlehne diese Angaben aus der Vorrede zur Ausgabe *Hanoviae*, 1619.

2) Es ist auch im Jahre 1715. in Nürnberg ins Deutsche übertragen worden.

hatte diese Anklage darauf gegründet, dafs Porta über die Hexensalbe (*lamiarum unguentum*) geschrieben habe, welche Abhandlung dieser gleichwohl nur in der Absicht verfafst zu haben versichert, um den Betrug, den man damit gespielt hatte, aufzudekken. Zu seiner Vertheidigung nach Rom berufen, wurde er zwar von der Anklage freigesprochen, die Akademie der Geheimnisse aber auf Befehl des Pabstes aufgehoben.

In wunderlichem Gemische finden wir in der „Natürlichen Magie" die verschiedenartigsten Gegenstände in zwanzig Büchern mit einem Aberglauben abgehandelt, der bei der Zuversicht, mit welcher er sich geltend macht, einem Leser unserer Zeit kaum begreiflich scheinen mögte. Da dies Werk ein treues Gemälde des damaligen Zustandes der Physik und Chemie, und ihrer Anwendung auf die Bedürfnisse des geselligen Lebens ist, so will ich wenigstens die Ueberschriften eines jeden Buches angeben:

1) Von den Ursachen des Wunderbaren.

Porta sucht sie besonders in der Sympathie, in dem Einflusse der Gestirne, in dem Orte, wo etwas geschieht u. s. w.

2) Von der Erzeugung gewisser Thiere.

Hier behauptet er unter anderen, indem er viele Autoritäten und Beispiele anführt, dafs aus dem Marke der Menschen, und aus den Haaren der Frauen sich Schlangen erzeugen, dafs Bienen aus dem verwesenden Fleische der Rinder entstehn u. s. w.

3) Von den Garten- und anderen Gewächsen.

4) Von den in einer Haushaltung wahrzunehmenden Vortheilen, damit Wohlstand in dieselbe komme.

5) Von den Metallen.

6) Von der künstlichen Nachbildung der Edelsteine.

7) Vom Magnet.

8) Von den Arzeneien.

Dafs dieses Buch besonders reich an belustigenden Erzählungen ist, wird man auch ohne meine Erinnerung vermuthen.

9) Vom Schminken, und von den übrigen Mitteln, die Schönheit eines Weibes zu erhöhen.

10) Vom Destilliren.

11) Von wohlriechenden Sachen.

12) Vom Feuerwerk.

13) Von der Behandlung des Eisens.

14) Von der Kochkunst.

Sehr ergötzlich sind die Mittel, die Porta hier angiebt, sich einen Schmarotzer vom Halse zu schaffen.

15) Von dem Fangen der Thiere durch künstliche Mittel.

16) Von der Geheimschrift.

Er zeigt hier, wie man unleserliche Buchstaben durch das Aufstreuen eines gewissen Pulvers erkennbar machen, wie man auf ein Ei schreiben könne, wo man Briefe verbergen, welchen Boten man sie anvertrauen müsse, wenn man sicher sein wolle, dafs sie nicht erbrochen werden.

17) Von den Brenn- und anderen Spiegeln, und welche Erscheinungen man durch dieselben hervorbringen könne.

18) Von dem Abwägen der Körper.

19) Von der Luft.

20) Verschiedene künstliche Mittel, gewünschte Zwecke zu erreichen.

Auch in diesem Buche kommt des Belustigenden viel vor, das als eine untrügliche Wahrheit vorgetragen wird.

Ich übergehe die meist unausführbaren Spiele-

reien, auf welche sich **Porta** im siebzehnten Buche auch in der Abhandlung über die Optik einläfst, und will nur die wissenschaftliche Seite derselben auffassen. Dahin gehört zunächst, was er über die Winkelspiegel sagt. Er erklärt die Entstehung der Bilder in denselben durch eine wiederholte Reflexion des Lichtes, so dafs jedes die Stelle des Gegenstandes für das nächstfolgende vertritt, und findet ihre Anzahl von der Gröfse des Neigungswinkels der Spiegel abhängig.

Die beiden Spiegel seien (Fig. 3.) AB und AC, und O ein Gegenstand in beliebiger Lage zwischen denselben. Man bezeichne den Winkel BAO mit α, den Winkel CAO mit β, die Summe beider aber mit γ, und bestimme hierauf die Bilder O', O'', O''' ...., o', o'', o''' ...., so nämlich, dafs O' eben so weit hinter dem Spiegel AB, wie der Gegenstand O selbst vor demselben, und O'' wieder eben so weit hinter dem Spiegel AC, wie das erste Bild O' vor demselben liegt u. s. w.: so sieht man sogleich aus der Kongruenz der auf diese Weise entstandenen Dreiecke, dafs die Bilder in einem Kreise um A herum gelegen sein müssen. Dafs sie aber auch symmetrisch um A geordnet sind, und wie man ihre Anzahl finden könne, ergiebt sich aus dem Gesetze, von welchem die zwischen jeden zwei auf einander folgenden Bildern, und die zwischen dem Gegenstande und seinen Bildern liegenden Kreisbogen abhängig sind. Es ist nämlich

$$\begin{array}{ll} BAO' = \alpha & BAo' = \gamma + \beta \\ BAO'' = 2\gamma + \alpha & BAo'' = \gamma + \beta \\ BAO''' = 2\gamma + \alpha & BAo''' = 3\gamma + \beta \\ BAO^{IV} = 4\gamma + \alpha & BAo^{IV} = 3\gamma + \beta \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots \end{array}$$

daher

$$\begin{array}{ll} OAO' = 2\alpha & OAo' = 2\beta \\ O'Ao'' = 2\beta & o'AO'' = 2\alpha \\ o''AO''' = 2\alpha & O''Ao''' = 2\beta \\ O'''Ao^{IV} = 2\beta & o'''AO^{IV} = 2\alpha \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots \end{array}$$

woraus die symmetrische Lage der Bilder, die abwechselnd in den Entfernungen 2α und 2β auf einander folgen, hervorgeht.

Um ihre Anzahl zu finden, hat man

$$\begin{array}{ll} OAO' = 2\alpha & OAo' = 2\beta \\ OAo'' = 2\gamma & OAO'' = 2\gamma \\ OAO''' = 2\gamma + 2\alpha & OAo''' = 2\gamma + 2\beta \\ OAo^{IV} = 4\gamma & OAO^{IV} = 4\gamma \\ OAO^{V} = 4\gamma + 2\alpha & OAo^{V} = 4\gamma + 2\beta \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots \end{array}$$

Es liegt also, wenn $\frac{360^0}{\gamma} = \delta$ eine ganze positive, und zwar zuerst eine gerade Zahl ist, das δte Bild hinter AB um den Bogen $\gamma\delta = 360^0$, und das δte Bild hinter AC um denselben Bogen von dem Gegenstande entfernt, d. h. es fallen beide Bilder mit O zusammen. Ist aber δ eine ungerade Zahl, so ist der Bogen zwischen O und dem δten Bilde hinter $AB = (\delta - 1)\ \gamma + 2\alpha$, und hinter $AC = (\delta - 1)\ \gamma + 2\beta$, welche beiden Bogen zusammen gleichfalls $2\gamma\delta$, d. h. denselben Ort O geben. In beiden Fällen sind daher $\delta - 1 = \frac{360^0}{\gamma} - 1$ Bilder des Gegenstandes möglich.

Den Brennpunkt der Hohlspiegel nennt **Porta** den Umkehrungspunkt der Bilder, *punctum inversionis imaginum.* Halte man das Gesicht zwischen den Spiegel und diesen Punkt, so werde es überaus grofs gesehn. In dem Brennpunkte selbst habe er Blei

und Zinn geschmolzen, Gold und Eisen aber bis zum Glühen gebracht. Auch habe er Worte, die in beträchtlicher Entfernung leise gesprochen wurden, dort deutlich vernehmen können. Befände sich aber das Gesicht aufserhalb jenes Punktes, so sehe man sein Bild verkehrt, und in der Luft schwebend. Daher komme auch, sobald ein Schwert einem Hohlspiegel allmählig genähert wird, die Spitze desselben, in dem verkehrten Bilde, der Hand entgegen, und man könne sich der Täuschung nicht erwehren, als ob die Hand von dem Schwerte durchbohrt werde.

In dem sechsten Kapitel beschreibt er die Einrichtung einer *Camera obscura*, deren Erfinder er ist. Man solle eine jede Oeffnung eines Zimmers, durch welche Licht einfallen könnte, sorgfältig verschliefsen, in den Fensterladen ein Stück Blech einsetzen, in diesem eine Oeffnung von der Dicke eines kleinen Fingers machen, und in dem Zimmer, der Oeffnung gegenüber, eine weifse Wand aufstellen. Man werde alsdann die Bilder von allem dem, was aufserhalb des Zimmers vor dem Fensterladen ist, auf der weifsen Wand umgekehrt sehn. Auch werden die Bilder um so gröfser erscheinen, je weiter man die Wand von der Oeffnung abrücke. Nun wolle er aber noch etwas mittheilen, was er bis dahin sorgfältig verschwiegen, und als ein tiefes Geheimnifs für sich hätte behalten wollen. Setze man nämlich eine gläserne Linse in die Oeffnung, so werde man alles deutlicher sehn, ja selbst die Gesichtszüge der Vorübergehenden sehr genau erkennen können. Porta macht besonders auf den Nutzen einer solchen *Camera obscura*, um mit leichter Mühe Gemälde beliebiger Gegenstände zu entwerfen, aufmerksam; auch könne man die Stärke einer Sonnenfinsternifs, ohne

Verletzung der Augen, am füglichsten in einem solchen Zimmer beobachten. „Es unterliegt keinem Zweifel", fügt er hinzu, „dafs unser Auge eine solche *Camera obscura* ist, in welche das Licht von aufsenher kommt. Die Pupille vertritt die Stelle der Oeffnung in dem Fensterladen, die Krystall-Linse aber die der weifsen Wand."

So grofs auch der Fortschritt ist, den Porta hier macht, indem er die Operationen des Auges unter einen anderen analogen Fall bringt, so ist es doch kaum begreiflich, wie er, der die Brechung des Lichtes in den Linsen sehr wohl kannte, die Vollendung der Bilder in der Krystall-Linse annehmen konnte, und die richtige Angabe des Weges, den die Lichtstralen im Auge nehmen, erst Kepler'n überliefs, der diese Entdeckung im Jahre 1604. bekannt machte.

Im achten Kapitel erklärt er, wie man ein Bild, gleich einem Gespenste, in der Luft schwebend hervorbringen könne, ohne dafs man die dasselbe bewirkenden Spiegel gewahr wird. Nachdem er diese seine Entdeckung mit pralenden Worten, die ihn selbst der unwissenden Menge gegenüber stellen sollen, angekündigt hat, tadelt er zuerst mit Recht die Undeutlichkeit und Unausführbarkeit eines Vorschlages des Vitello, der sich mit eben dieser Aufgabe beschäftigt habe [1]). Nach Vitello's Angabe soll nämlich die Verbindung zwischen zwei Zimmern nur durch zwei Oeffnungen unterhalten werden, in deren eine der Gegenstand, und in die andere in demselben Zimmer das Auge gestellt wird; ein in dem Nebenzimmer, dem Gegenstande gegenüber, vertikal aufgerichteter konvexer Cylinder-Spiegel soll alsdann das

1) Lib. VII, prop. 60.

in der Luft schwebende Bild dem Auge darstellen. Porta schlägt vor, die Stralen aus einem konkaven Cylinder-Spiegel auf einen Plan-, und von diesem auf einen konvexen Spiegel zu leiten. Aber auch seine Beschreibung verdient den Tadel groſser Unklarheit, deren er sich überall, wo es eine, seiner Meinung nach, wichtige Entdeckung gilt, mit unverkennbarer Absicht befleiſsigt. Ich werde auf diesen Gegenstand bei Kircher zurückkommen.

Besondere Beachtung verdient das zehnte Kapitel, worin er nicht nur die Wirkungen der konvexen und konkaven Glaslinsen richtig angiebt, sondern auch auf die Zusammensetzung solcher Linsen zu Teleskopen hindeutet. Es heiſst hier nämlich: „*Concavae lentes, quae longe sunt, clarissime cernere faciunt, convexae propinqua; unde ex visus commoditate his frui poteris. Concavo longe parva vides, sed perspicua; convexo propinqua majora, sed turbida. Si utrumque recte componere noveris, et longinqua et proxima majora, sed clara videbis. Non parum multis amicis auxilii praestitimus, qui et longinqua obsoleta, proxima turbida conspiciebant, ut omnia perfectissime contuerentur.*"

Unleugbar liegt in den Worten, daſs man bei einer schicklichen Zusammenstellung eines konvexen und konkaven Glases Nahes und Entferntes gröſser und deutlich sehe, eine Anspielung auf das Holländische Fernrohr. Da hier aber Porta von einer so wichtigen Erfindung bloſs beiläufig ohne jene Ruhmredigkeit spricht, mit welcher er sonst die unbedeutendste Sache ankündigt; da er bloſs sagt, daſs er durch eine solche Vorrichtung der Augenschwäche seiner Freunde abgeholfen habe, und, was besonders auffallen muſs, im folgenden Kapitel, wo er ein Werk-

zeug beschreiben will, mit dem man sehr weit solle sehen können, seine Unwissenheit hinter undurchdringlichen Worten verbirgt: so lassen diese Gründe keinen Zweifel übrig, dafs er wenigstens den Gebrauch, den man einige Decennien später von dem Fernrohre machte, und der allein es zu einem Werkzeuge von so hoher Wichtigkeit erhebt, nicht geahnet habe. Gewifs meint er hier entweder, wie de la Hire vermuthet [1]), ein unmittelbares Aufeinanderlegen beider Gläser, um die zu grofse Konvexität des einen durch die Konkavität des anderen, oder umgekehrt zu schwächen, und sie dadurch für das Auge, das sich ihrer bedienen soll, brauchbarer einzurichten; oder er hatte wirklich, was sehr nahe lag, beide Gläser in einer schicklichen Entfernung gehalten, ohne jedoch diese Entdeckung weiter zu verfolgen, und mehr zu leisten, als man schon lange von ihm gethan hatte.

Aehnliche Aeufserungen, die auf eine Bekanntschaft mit dem Fernrohre hinzudeuten scheinen, findet man, wie wir in der Folge sehen werden, schon viele Jahre vor Porta; zwei unter ihnen aber bestätigen die oben ausgesprochene Vermuthung zu augenfällig, als dafs ich sie nicht hier schon mittheilen sollte. Fracastorius, der 1553. starb, sagt nämlich [2]): „*Per duo specilla ocularia si quis perspiciat, altero alteri superposito, majora multo et propinquiora videbit omnia.*" Wenn hier auch die Art der Linsen nicht näher bestimmt wird, so ist wenigstens doch von einem unmittelbaren Aufeinanderlegen zweier Gläser, um gröfsere und nähere Bilder zu er-

1) *Mém. de l'acad. des sciences.* 1717.
2) *Homocentrica. Lugd.*, 1591. Sectio II, cap. 8.

halten, die Rede. Unzweideutig aber spricht Cabäus von der Verbindung eines konvexen und konkaven Glases, um bei schwachen Augen deutlich lesen zu können [1]). Es unterliegt demnach keinem Zweifel, dafs man den Porta, jener flüchtig hingeworfenen Aeufserung wegen, nicht für den Erfinder des Fernrohres halten kann.

In den sechs letzten Kapiteln handelt er von den Brennspiegeln. Er zeigt hier unter anderen, wie man einen Hohlspiegel so einzurichten habe, dafs sein Brennpunkt hinter demselben liegt. Ein Spiegel, dessen Sehne dem Halbmesser gleich ist, koncentrire die Stralen in einem Punkte, der um den vierten Theil des Durchmessers von dem Pole des Spiegels entfernt liegt [2]). Man nehme nun die Zone, die zwischen

1) *Non dissimulabo tamen, quod narrat Nicolaus Cabaeus (Comment. in librum tertium meteorol. Aristotelis), novisse se senem quendam, e societate Jesu sacerdotem, qui multis annis, antequam quidquam de optico tubo inaudiretur, duobus vitris, concavo et convexo, usus fuerat in horis suis canonicis recitandis, quod brevioris esset visus, applicando cavum propius oculo, convexum propius libro; nec unquam rem ut exoticam suspexerat, nec aliis detexerat, ut minus dignam, quae propalaretur. Gasparis Schotti magia univ. nat. et artis. Herbipoli*, 1657. p. 491.

2) In der Ausgabe *Antverpiae*, 1562., welche nur vier Bücher auf 135 Seiten enthält, und in einer anderen, wie es scheint, früheren *sine loco et anno*, 12mo. (Scheibel giebt als die älteste Ausgabe eine vom Jahre 1558. in Folio an) wird der Brennpunkt eines Hohlspiegels noch in den geometrischen Mittelpunkt gesetzt. Zum ersten Male finde ich ihn in der Ausgabe *Francof.*, 1591., die nur zwei Jahre früher, als die Schrift *De refractione* erschien, richtig angegeben. Erst in diesem Buche aber setzt Porta die Gründe aus einander, aus denen man den Brennpunkt für Stralen, die in der Nähe der Achse einfallen, ohne einen merklichen Fehler in die Mitte des Halbmessers setzen könne.

Wie lange es übrigens dauerte, bis man über die Lage des Brennpunktes, und über die hiervon abhängige Lage der Bilder

einem Spiegel liegt, dessen Sehne dem Halbmesser gleich ist, und dem, dessen Sehne so lang ist, als die Seite des Quadrates, das in einem mit diesem Halbmesser beschriebenen Kreise gezeichnet werden kann, halte diese Spiegelzone gegen die Sonne, und man werde auf diese Weise den Brennpunkt hinter den Spiegel gebracht haben. Stelle man zwei solcher Spiegelzonen, eine gröfsere und eine kleinere, so, dafs ihre Brennpunkte zusammenfallen, so werde man, besonders wenn man sie nicht sphärisch, sondern parabolisch wählt, die Sonnenstralen bis auf eine beliebige Entfernung fortsenden können. Porta meint also dieselbe Vorrichtung, die später auch von Bettinus angegeben wurde, und an deren gänzliche Unbrauchbarkeit ich schon bei den Brennspiegeln des Archimedes erinnert habe.

Eine andere Schrift, *De refractione* [1]), des Porta gehört im Betreff der Dioptrik zu den merkwürdigsten, die in die Zeit zwischen Ptolemäus und Kepler fallen, weil er in derselben den Weg des Lichtes durch wirkliche Glaslinsen, und nicht blofs, wie dies noch Roger Baco gethan hatte, durch zwei Mittel von verschiedener Dichtigkeit im Allgemeinen verfolgt. Es gelingt ihm zwar nicht, den Brennpunkt irgend einer Linse zu bestimmen; nichtsdestoweniger findet er, dafs die Bilder eines doppelt-

ins Klare kam, möge man auch daraus abnehmen, dafs Maginus (*Instruction sur les apparences et admirables effects du miroir concave sphérique, composée en Italien par Jean Antoine Maginus, et traduite en François par Boyssier. Paris*, 1620. pag. 28.) den Porta und Victor Ausonius tadelt, weil sie den Punkt, von welchem an die Bilder eine umgekehrte Lage erhalten könnten, in die Mitte des Halbmessers gesetzt hätten.

1) *Joan. Baptistae Portae Neapol. de refractione, optices parte, libri novem. Neap.*, 1593. 230 Seiten gr. 8vo.

konvexen Glases bald vor, bald hinter demselben, selbst in unendlicher Entfernung liegen können. Die ähnliche Wirkung der Hohlspiegel hatte, wie wir schon wissen, zuerst Euklides entdeckt.

Porta theilt in dieser Schrift auch seine Ansicht über das Blinkern der Sterne mit [1]). Er erklärt sich gegen Aristoteles, der die Ursache dieser Erscheinung in der sehr grofsen Entfernung der Sterne gesucht hatte, indem das aus den Augen ausgehende, und sich so weit erstreckende Licht zittere und dunkel werde. Eben so stimmt er der Ansicht derer nicht bei, welche die Ursache des Blinkers der sehr schnellen Bewegung der Sterne zuschrieben, da man diese Erscheinung auch bei den sich langsamer bewegenden Gestirnen in der Nähe des Poles bemerke. Auch Peckham's Erklärung, dafs die Sterne gleich Spiegeln die Sonnenstralen zurückwerfen, und bei ihrer Bewegung den Einfalls- und Reflexionswinkel ununterbrochen ändern, wird als ungenügend zurückgewiesen. Porta sucht vielmehr die Ursache des Blinkers in den Dünsten der Atmosphäre, welche die von den Gestirnen kommenden Lichtstralen aufhalten und zerstreuen.

Die schon in der *Magia naturalis* aufgestellte Behauptung, dafs das Auge mit einer *Camera obscura*, in welche das Licht von aufsenher kommt, verglichen werden könne, wird auch hier wiederholt [2]), und ihre Wahrheit besonders darin begründet gefunden, dafs die Pupille bei stärkerem Lichte kleiner, bei schwächerem gröfser werde. Diese Beobachtung war indefs schon weit früher, nicht allein von

1) Gegen das Ende des ersten Buches.

2) Von der Einrichtung des Auges handelt er vom dritten bis zum siebenten Buche.

den Arabern **Rhazes** und **Avicenna**[1]), sondern selbst schon von **Galen** gemacht worden[2]), der aber irrigerweise gefunden zu haben glaubte, dafs die eine Pupille sich nur dann erweitere, wenn das andere Auge geschlossen würde; dafs sie sich aber wieder verengere, wenn man das Auge öffne. Dafs die Erweiterung oder Verengerung beider Pupillen zugleich blofs von der Stärke des Lichtes abhängig sei, bemerkt auch **Fabricius ab Aquapendente**, ein mit **Porta** beinahe gleichzeitiger Schriftsteller, dem diese Entdeckung **Fra Paoli Sarpi**, der berühmte Verfasser der Geschichte des Tridentinischen Conciliums, und beherzte Vertheidiger der Republik Venedig gegen die Anmaafsungen **Paul's V.**, als eine geheimnifsvolle mitgetheilt hatte [3]).

Porta nimmt auch die Frage über die Einheit

1) *Halleri physiologia. Lausannae*, 1769., tom. V, pag. 374.

2) *De usu partium corporis humani.* Lib. X, cap. 5.

3) *Primum quidem, cum in cato animali, ambobus oculis apertis, pupillam utriusque magnopere tum dilatari, tum astringi exiguo intervallo videremus, admirari coepimus, deinde observare, non solum, altero occluso oculo, alterius pupillam dilatari, sed etiam, utrisque apertis, id contingere. Cum vero idem animal exiguo temporis spatio pupillam alternis et crebris vicibus tum dilataret, tum coarctaret, suspicari coepimus, posse etiam huiusmodi motum voluntarium censeri. Cum vero nullum musculum, huic motui tributum, comperiremus, animi pendebamus, neque, utram sequeremur partem, satis constitutum habebamus. Re igitur cum amico quodam nostro communicata, ille tandem forte id observavit, scilicet non modo in cato, sed in homine, et quocunque animali foramen uveae in majori luce contrahi, in minori dilatari. Quod arcanum observatum est, et mihi significatum a Patre Magistro Paulo Veneto, ordinis, ut appellant, Servorum theologo, philosophoque insigni, sed mathematicarum disciplinarum, praecipue optices, maxime studioso. Hieronymi Fabricii ab Aquapendente tractatus anatomicus triplex de oculo, aure, laringe.* 1613. pars III, cap. 6.

der Bilder in beiden Augen, die schon Alhazen ziemlich befriedigend beantwortet hatte, wieder auf. Er glaubt, dafs wir immer nur mit einem Auge sehen, mit dem rechten, wenn wir etwas zur rechten, mit dem linken, wenn wir etwas zur linken Hand Gelegenes erblicken wollen. Wir werden ihm diese, im Widerspruche mit der Erfahrung stehende, Meinung um so weniger verargen können, da sie selbst in späterer Zeit, unter anderen von Le Clerc, der sogar versucht hat, sie auf dem Experimental-Wege zu bestätigen, wieder aufgestellt ist [1]).

Von den Farben handelt Porta im neunten Buche. In der Vorrede zu demselben sagt er, dafs er sich länger, als vierzig Jahre mit ganzer Seele mit diesem Gegenstande beschäftigt habe, und dafs er wünsche, endlich auf den richtigen Pfad gekommen zu sein. Die Sache sei schwer, wunderbar, und scheine das menschliche Fassungsvermögen zu übersteigen. Defshalb hätten auch die Dichter den Regenbogen die Tochter des Thaumas genannt.

Unzufrieden mit der Aristotelischen Farbenlehre, hält er nicht allein das Sonnenlicht für farbenlos, weil es die Grundlage (*hypostasis*) aller Farben werden sollte, sondern er ist auch der Meinung, dafs die Farben durch eine Mischung des Lichtes, und der dichteren oder dünneren Theile der Luft, nicht aber durch eine Mischung von Licht und Finsternifs entstehn. Als die Ursache des Regenbogens, in welchem er die Anzahl der Farben für unbestimmbar erklärt, sieht er nicht, wie Aristoteles, eine Zurückwerfung, sondern eine Brechung der Sonnenstralen

1) *Discours, touchant le point de vuë, dans lequel il est prouvé, que les choses, qu'on voit distinctement, ne sont vuës, que d'un oeil, par Seb. Le Clerc. Paris*, 1679.

an, die aber nicht in jedem einzelnen Tropfen, sondern in der ganzen Regenwolke erfolge. Da die Regenbogenfarben nicht an etwas Materielles gebunden sind, so nennt er sie scheinbare, unterscheidet also, wie die Pythagoreer, wahre und scheinbare Farben. Wie oft endlich Porta den Weg der Erfahrung verlassen habe, geht auch daraus hervor, dafs er den zweiten Regenbogen defshalb nicht für einen blofsen Widerschein des ersten halten will, weil sonst die Farben beider in derselben Ordnung folgen müfsten, da doch der einfachste Versuch ihn belehrt haben würde, dafs zwar die Folge der Farben alsdann geändert, der zweite Regenbogen aber nicht koncentrisch mit dem ersten, sondern umgekehrt sein würde.

Franciscus Maurolycus.

Geb. 1494., gest. 1577.

Erklärung der runden Gestalt des Sonnenbildes, ungeachtet es durch eine eckige Oeffnung einfällt — Ein Lichtstral, der auf ein dichteres Mittel mit parallelen Oberflächen fällt, geht nach der Brechung parallel mit seiner vorigen Richtung fort — Das Brechungsverhältnifs aus Luft in Glas ist 8:5 — Erste Andeutung der Brennlinien — Im Regenbogen treten besonders sieben verschiedene Farben hervor, und er entsteht durch eine wiederholte Reflexion der Sonnenstralen auf der inneren Seite eines jeden Tropfens — Die Wirkung der Krystall-Linse im Auge läfst sich mit der eines doppelt-konvexen Glases vergleichen; die Weitsichtigkeit ist daher die Folge einer zu wenig gekrümmten, die Kurzsichtigkeit die einer zu stark gekrümmten Krystall-Linse.

Die Familie des Maurolycus stammte aus Konstantinopel, aus welchem Orte sich sein Vater, Antonius Maurolycus, nach Messina begeben hatte, um

den Verfolgungen der Türken zu entgehn. Seine für die damalige Zeit hervorragenden Kenntnisse erwarben ihm die Gunst vieler angesehenen Männer; selbst der Kaiser Karl V., der ihn auf seiner Rückkehr von Afrika sahe, zeichnete ihn aus. Die Würde eines Abtes in dem Kloster Stae. Mariae de Partu bei Castronuovo verdankte er den Bemühungen des unter Philipp II. berühmten Alessandro Farnese. Maurolycus hatte dem Don Juan d'Austria den Sieg gegen die Türken vorhergesagt, und stand überhaupt seiner Prophezeihungen wegen in grofsem Ansehn [1]).

Unter der nicht unbedeutenden Zahl seiner Schriften, die meistentheils die Erklärung der alten Mathematiker betreffen, ist auch eine, *Photismi de lumine et umbra*, optischen Inhaltes, die im Jahre 1575., also später, als Porta's Magie, in Venedig erschien [2]). Ungeachtet diese Schrift nur wenige Bogen enthält, so ist sie doch durch mehrere, für die Theorie wichtige Entdeckungen ausgezeichnet.

Schon Aristoteles hatte die Frage aufgeworfen [3]), woher es komme, dafs, wenn die Sonnenstralen in ein verfinstertes Zimmer durch eine Oeffnung von beliebiger Gestalt, z. B. der eines Dreieckes, fallen

1) *Moréri le grand dictionnaire historique* unter Maurolycus.

2) Das Exemplar, welches ich gelesen habe, hat folgenden Titel: *Francisci Maurolyci, abbatis Messanensis, mathematici celeberrimi, theoremata de lumine et umbra, ad perspectivam, et radiorum incidentiam facientia. Diaphanorum partes seu libri tres, in quorum primo de perspicuis corporibus, in secundo de iride, in tertio de organi visualis structura, et conspiciliorum formis agitur. His accesserunt Christophori Clavii, e societate Jesu, notae. Lugd.* 1613. gr. 8vo. 94 Seiten.

3) *Problematum sectio XV*, cap. 10.

das Bild, in einer gewissen Entfernung aufgefangen, sich jedesmal rund zeige; ja noch mehr, wie es zu erklären sei, dafs, wenn ein Theil der Sonne durch den Mond verdeckt wird, die durch dieselbe Oeffnung von beliebiger Gestalt einfallenden Sonnenstralen ein dem leuchtenden Sonnensegmente ähnliches Bild geben. Aristoteles hatte diese Frage nicht besser, als durch die Schwäche unseres Gesichtes, welches die in die Winkel der Oeffnung fallenden Stralen vor der Helligkeit jener, die durch die Mitte gehn, nicht aufnehmen, wenigstens nicht deutlich unterscheiden könne, zu erklären gewufst. Näher kommt er freilich der Wahrheit, wenn er die Ursache, wefshalb das Bild einer Sonnenzone, deren Stralen durch eine mehrseitige Oeffnung fallen, sich auf einer auffangenden Ebene wieder als eine solche Zone, nur in umgekehrter Lage zeige, dahin angiebt [1]), dafs zwei Kegel mit ihren Scheiteln in der Oeffnung zusammenstofsen, von denen die Grundfläche des einen in der Sonne, die des anderen auf der auffangenden Ebene liegt, ohne jedoch diesen Gedanken weiter zu verfolgen, und in die Erklärung auch nur einige Klarheit zu bringen. Was Vitello [2]) und Peckham hierüber sagen, ist eben so unhaltbar. Erst Maurolycus beantwortet diese Frage auf eine genügendere Weise, indem er die Ursache jener Erscheinung in den beiden Sätzen findet, dafs sich die Peripherieen zweier oder mehrerer Kreise um so mehr der Gestalt eines Kreises nähern, je weniger sie unter sich verschoben werden [3]), und dafs jeder Punkt der Oeffnung die gemeinschaftliche Spitze zweier Kegel sei, von denen

1) *Problematum sectio XV*, cap. 5.
2) Lib. II, 39.
3) Theor. 21.

der eine die Sonnenscheibe, und der andere, der durch eine gegen seine Achse winkelrechte Ebene geschnitten wird, einen um so gröſseren leuchtenden Kreis zur Basis habe, je weiter man diese Ebene von der Oeffnung entfernt [1]). Die Erklärung, die er auf diese Sätze gründet, ist in der That völlig befriedigend. „Man denke", sagt er, „weil zu jedem Punkte der Oeffnung ein Lichtkegel gehört, aus jedem Punkte derselben einen Kreis, als die gleichen Grundflächen jener Kegel, auf der auffangenden Ebene beschrieben, so muſs die aus allen diesen Kreisen resultirende Figur der Gestalt eines Kreises um so näher kommen, je kleiner die Oeffnung im Vergleiche gegen diese Kreise ist, je weiter also die auffangende Ebene von derselben entfernt wird." Auf eben diese Weise beantwortet er auch die zweite Frage. Man würde, wenn die Oeffnung z. B. eine dreieckige Gestalt hätte, aus jedem Punkte dieses auf die auffangende Ebene gezeichneten Dreieckes eine Menge von Figuren, die dem Sonnensegmente ähnlich sind, zeichnen müssen, deren Resultat um so weniger von einer, dem Sonnensegmente ähnlichen Figur abweichen wird, je gröſser die einzelnen Segmente im Vergleiche mit der Oeffnung genommen werden. Wegen der in der letzteren sich durchkreuzenden Stralen wird aber das Bild umgekehrt erscheinen. Somit war nun auch die Frage erledigt, weſshalb das durch eine beliebige Oeffnung zwischen zwei Blättern eines Baumes einfallende, und durch eine Ebene in einer gewissen Entfernung aufgefangene Sonnenlicht ein kreisrundes, oder elliptisches Bild zeige.

1) Theor. 22.

Auch **Kepler** hat sich, ohne des **Maurolycus** Schrift zu kennen, mit eben diesem Gegenstande beschäftigt [1]). Er nimmt mit unnützer Weitschweifigkeit eine Menge von geometrischen Sätzen zu Hilfe, um kein anderes Resultat zu finden, als dasjenige, welches **Maurolycus** auf einem so einfachen Wege gefunden hatte. Lehrreich ist übrigens die Erzählung **Kepler's**, wie er, nachdem ihm alle früheren Erklärungen ungenügend vorgekommen sein, endlich die Wahrheit entdeckt habe. „Ich legte", erzählt er, „ein Buch, das mir die Stelle des leuchtenden Körpers vertreten sollte, an einen hochgelegenen Ort. Zwischen dieses Buch und eine Wand stellte ich eine Tafel mit einer Oeffnung, die viele Winkel hatte. Hierauf befestigte ich an die eine Ecke des Buches einen Faden, zog ihn durch die Oeffnung hindurch, und beschrieb längs den Grenzen derselben mit dem anderen Ende des Fadens eine Figur mit Kreide auf der Wand. Ich erhielt hierdurch eine der Oeffnung ähnliche Figur. Dasselbe geschah, als der Faden an der zweiten, dritten und vierten Ecke, und an mehreren anderen Stellen des Buches befestigt wurde. Aus allen diesen Figuren entstand endlich eine, die der des Buches um so ähnlicher wurde, je weiter die Wand von der Oeffnung entfernt war."

Was **Maurolycus** in wenigen Theoremen über die Spiegel sagt, steht **Porta's** Leistungen bei weitem nach. Er macht zwar auf die Längenabweichung aufmerksam, nirgends aber zeigt sich hier eine Kenntnifs der Lage des Brennpunktes, und der davon abhängigen näheren Bestimmung der Entfernung, Gröfse und Lage der Bilder.

1) *Ad Vitellonem Paralipomena*, cap. 2.

In den drei letzten Büchern handelt er von der Brechung des Lichtes.

Zum ersten Male finden wir hier den Beweis des Satzes, dafs ein Stral, der auf ein durchsichtiges Mittel mit parallelen Oberflächen fällt, nach der Brechung parallel mit seiner vorigen Richtung fortgeht. Aus der Gleichheit der Winkel, welche der gebrochene Stral mit den Einfallslothen im dichteren Mittel macht, folgert er die Gleichheit der Winkel in dem dünneren.

Maurolycus ist auch der erste Optiker, der auf die Kurven, die man in der Folge Brennlinien durch Brechung nannte, aufmerksam gemacht hat. Bei der Untersuchung des Weges, den die Stralen in einer gläsernen Kugel nehmen, wobei er das Verhältnifs des Einfalls- und Brechungswinkels = 8 : 5 setzt [1]), zeigt er nämlich, dafs von solchen Stralen, die parallel mit der Achse durch die Kugel gehn, der vom Mittelpunkte entferntere in einem der Kugel näheren Punkte die Achse schneidet, als der dem Mittelpunkte nähere, woraus er die Folgerung zieht, dafs jeder Stral den der Achse näheren hinter der Kugel schneidet, und von dem entfernteren geschnitten wird, dafs also die gebrochenen Stralen einen Kegel bilden, der zur Basis einen Theil der Kugeloberfläche hat, dessen Seiten aber nicht gerade, sondern gekrümmt sind, und dessen Scheitel die äufserste Grenze der Durchschnittspunkte ist [2]).

1) Maurolycus vergleicht eigentlich nicht den Einfalls- mit dem Brechungswinkel, sondern auf eine unbequemere, und jetzt ungewönliche Weise den Einfalls- mit dem gebrochenen Winkel, deren Verhältnifs er für Luft und Glas 8 : 3 setzt. Auch Kepler vergleicht immer diese beiden letzteren Winkel.

2) Lib. I, theor. 24., scholion: *Notandum, quod, quoniam solares radii per diaphanam sphaeram transmissi, non omnes eodem concurrunt, quilibet eorum propiorem centro secat, et a*

Die Kreisgestalt des Regenbogens erklärt er daher, dafs die auf eine thauige Wolke (*rorida nubes*) fallenden Stralen von allen Seiten unter einem Winkel von 45° gegen das Auge gebrochen werden [1]). Er theilt nämlich den Umfang des Tropfens (Fig. 4.) durch die Punkte *A*, *B*, *C* ... *H* in acht gleiche Theile, und läfst den Stral *LH* aus dem unteren Rande der Sonne unter einem Winkel *LHM* von 45° gegen *M* hin, den Stral *KA* aber aus dem oberen Sonnenrande von der hinteren Seite *D* des Tropfens gleichfalls unter einem Winkel *KDM* von 45° nach demselben Punkte *M* hin reflektirt werden. Ehe aber die Stralen nach dem Auge *M* kommen, sollen sie, um sich mit Farben zu tränken, verschiedene Male von der inneren Seite des Tropfens zurückgeworfen werden, der Stral *LH* z. B. siebenmal in *E*, *B*, *G*, *D*, *A*, *F*, *C*. Im Regenbogen selbst unterscheidet er besonders vier Farben, die er *croceus*, *viridis*, *coeruleus* und *purpureus* nennt, zwischen diesen aber noch drei andere, die er als die Uebergänge (*connexiones*) ansieht.

Obgleich wir in der Folge sehn werden, dafs schon lange vor Maurolycus, im Anfange des vierzehnten Jahrhunderts, durch einen Deutschen Dominikaner, Theodoricus de Saxonia [2]), die Entste-

remotiori secatur. Ideo radii ipsi, sphaera egressi, conum quendam efficiunt, cuius basis est superficies sphaericae portionis, intra quam terminantur omnium radiorum congressus. Latera vero non recta, sed, propter huiusmodi successivas radiorum sectiones, curva sunt; vertex autem est extremus terminus congressuum.

1) Lib. II, theor. 25.

2) In der Schrift *De radialibus impressionibus*, auf welche sich wahrscheinlich folgende Worte des Maurolycus, am Ende des zweiten Buches der *Diaphanorum*, beziehn: *Audio, quos-*

hung des Regenbogens auf dieselbe Weise erklärt wird, die sich bis jetzt als die allein richtige bewährt hat, so kannte doch Maurolycus diese Schrift nicht, und er macht daher einen Fortschritt in der Theorie des Regenbogens, wenn er besonders sieben Farben in demselben unterscheidet, und eine Reflexion der Sonnenstralen auf der inneren Seite eines jeden Tropfens annimmt.

Auch in der Bestimmung der Funktionen, welche die Natur den Organen des Auges angewiesen hat, machte Maurolycus einige wichtige Entdeckungen. Er ist der erste Optiker, der auf den glücklichen Gedanken kam, die Wirkungen der Krystall-Linse aus der Theorie der Glaslinsen zu erklären. Zwar weiſs er über diese nichts mehr anzuführen, als daſs die Lichtstralen durch eine doppelt-konvexe Linse in einen Punkt der Achse gesammelt, durch eine doppelt-konkave aber zerstreut, und von der Achse entfernt werden, und daſs die Linsen diese Wirkung um so bedeutender zeigen, je stärker ihre Oberflächen gekrümmt sind; dennoch leitet ihn diese mangelhafte Kenntniſs zu der Behauptung, daſs nur die Augenachse ungebrochen durch die Krystall-Linse gehe, alles schief einfallende Licht aber in ihren beiden Oberflächen gebrochen werde, während noch Roger Baco und Peckham der Meinung gewesen waren, daſs die Krystall-Linse nur winkelrecht einfallende Stralen aufnehmen könne. Die Analogie zwischen einem doppelt-konvexen Glase und der Krystall-Linse weiter verfolgend, bemerkt er, daſs die letztere nicht

dam inveniri libellos in Germania, ut per indicem quendam vetustorum exemplarium Andreae Stibonii, Canonici Viennensis, didicimus, in quibus huiusce rei (der Entstehung des Regenbogens) *demonstratio tractatur, quos ego nondum vidi.*

kugelförmig eingerichtet werden konnte, weil sonst die von den Endpunkten eines Gegenstandes kommenden Stralen sich im Mittelpunkte dieser Kugel durchkreuzen, und ein umgekehrtes Bild geben würden; sie müfse vielmehr zusammengedrückt, und aus zwei sphärischen Stücken von verschiedener Konvexität, so dafs das vordere weniger gekrümmt ist, zusammengesetzt sein, damit die Stralen vor ihrer Vereinigung den Gesichtsnerv treffen, und aufrechte Bilder geben können. Er kommt also auch darin der Wahrheit bedeutend näher, dafs er die Vereinigung der Stralen nicht auf der Krystall-Linse, sondern hinter derselben annimmt. Auf demselben Wege entdeckt er endlich auch die Ursache der Weit- und Kurzsichtigkeit. Da der Weitsichtige sich des stralensammelnden Konvex-Glases bedienen mufs, so findet er die Ursache der Weitsichtigkeit in einer zu wenig gekrümmten Krystall-Linse (*expansior pupillae facies*, *hoc est*, *de majori sphaera sumta*), welche die von nahen Gegenständen kommenden Stralen nicht stark genug bricht; und da der Kurzsichtige das lichtzerstreuende Konkav-Glas gebrauchen mufs, so hält er die Kurzsichtigkeit für die Folge einer zu stark gekrümmten Krystall-Linse (*pupilla conglobatior*), welche die von entfernten Gegenständen kommenden Stralen sich zu frühe vereinigen läfst. Uebrigens scheinen schon damals die Brillen in allgemeinem Gebrauche gewesen zu sein, da Maurolycus in früherer Zeit Brillen gesehn zu haben versichert, auf welchen das für sie passende Alter angegeben war.

Baco von Verulam.

Geb. 1560., gest. 1626.

In der Geschichte der Physik pflegt man diesem Manne eine ausgezeichnete Stelle einzuräumen, freilich von anderen Rücksichten, als den gewöhnlichen geleitet. Denn weit entfernt, den Umfang dieser Wissenschaft erweitert zu haben, wollte er vielmehr das ganze Gebäude derselben als ein solches, das in sich selbst nicht aufrecht erhalten werden könne, zerstören.

Schon der bisherige Verlauf der Geschichte der Optik erklärt uns zum Theil die Gründe, die ein solches Unternehmen veranlassen konnten. Der Fleifs und Scharfsinn der Gelehrten hatten sich erschöpft, die unfehlbare Autorität des Plato und Aristoteles so wie in der Optik, so auch in dem ganzen Gebiete der Physik aufrecht zu erhalten, ungeachtet diese scharfsinnigen Philosophen doch nur die ersten unsicheren Schritte zur Enthüllung der Naturgesetze gethan hatten. Diese Abgötterei, die man mit der Untrüglichkeit der Griechischen Philosophen trieb, war es, die den Baco veranlafste, die bisher von den Physikern befolgte Methode für eine gänzlich verfehlte zu erklären, und der Physik nicht eher eine bessere Zukunft zu verheifsen, als bis man sich von der Knechtschaft der scholastischen Methode befreit haben würde. Mag er auch in seinem Eifer gegen das bisherige Verfahren der Physiker zu weit gegangen sein, so bleibt ihm nichtsdestoweniger das überaus grofse Verdienst, die Grundsätze der Physik für immer auf die Erfahrung zurückgewiesen, und so die allein sichere Basis für jede physikalische Spekulation gegeben zu haben.

Der gröfsere Theil seiner Schriften[1]) fällt in die späteren Lebensjahre, sein berühmtestes Werk aber, das *Novum organum*, war die Frucht eines vieljährigen Forschens. Was er in dem damaligen Zustande der Optik vermifste, und wie er wollte, dafs die Physiker hier zu Werke gehn müfsten, wird sich am besten beurtheilen lassen, wenn ich einige von den wenigen Stellen, in denen er in seinen Schriften von der Optik handelt, hersetze.

„Dafs keine gründliche Untersuchung über die Form des Lichtes bisher angestellt ist, gehört zu den unbegreiflichsten Mifsgriffen. Man spricht von den Stralen des Lichtes, ohne sich um seinen Ursprung zu kümmern. Die Versetzung der zu frühe von den Physikern aufgegebenen Perspektiv unter die Herrschaft der Mathematik, hat diesen und andere ähnliche Mängel herbeigeführt. Man scheuete sich aber vor einer Forschung nach dem Ursprunge des Lichtes, gleichsam aus religiöser Ehrfurcht, als ob es höherer Natur wäre, und die Mitte hielte zwischen Göttlichem und Erschaffenem, so dafs sogar einige Platoniker das Licht für älter, als die Materie hielten, ungeachtet doch die heilige Schrift ausdrücklich erklärt, dafs Himmel und Erde vor der Erschaffung des Lichtes finster gewesen sein. Man hätte aber die physikalische Untersuchung desselben nicht sogleich aufgeben, sondern zunächst ermitteln sollen, was allen leuchtenden Körpern gemeinsam sei, also die Form des Lichtes. Denn welch ein Unterschied ist zwischen der Sonne und faulendem Holze, oder den verwesenden Schuppen der Fische! Man hätte erforschen müs-

1) Man findet sie gesammelt in *Francisci Baconi opera omnia. Francof. ad Moenum*, 1665.

sen, was denn die Ursache sei, weſshalb einige Körper glühen, und Licht um sich her verbreiten, andere aber durchaus nicht in diesen Zustand versetzt werden können. Die Ursache dieses Uebels aber, so wie der meisten anderen, liegt darin, daſs man nicht aus dem besonderen Verhalten der Dinge auf ihre gemeinsamen Formen schloſs, welches ich doch für die eigentliche Aufgabe der Metaphysik, die selbst ein Theil der Physik ist, erklären muſs. Die Untersuchung über die Form und den Ursprung des Lichtes ist es also, was ich vermisse" [1]).

„Was die Fortpflanzung des Lichtes, nicht aber seine Erzeugung betrifft, so ist ihm nichts ähnlicher, als der Schall. Man untersuche also genau, worin beide übereinstimmen, worin sie abweichen. Licht und Schall verbreiten sich ringsumher durch die weitesten Räume, das Licht aber schneller, als der Schall. Beide sind der leisesten Uebergänge fähig, wie die Töne in den artikulirten Worten, das Licht in allen Bildern des Sichtbaren. Licht und Schall stimmen auch darin überein, daſs ihre Wirkungen sich nur auf die Sinne der Thiere erstrecken, daſs sie leicht hervorgebracht werden können, und eben so leicht verschwinden, daſs das Licht von einem stärkeren Lichte verdunkelt, und eben so der Schall von einem stärkeren Schalle unterdrückt wird. Beide aber unterscheiden sich darin, daſs das Licht, wie schon gesagt, sich geschwinder bewegt, daſs es sich auf gröſsere Entfernungen ausbreitet, daſs es sich nur in geraden Linien fortpflanzt, während der Schall überallhin vernommen wird" [2]).

1) *De augmentis scientiarum*, lib. IV, cap. III.
2) In der angeführten Ausgabe pag. 748.

Durch ein solches Vergleichen der Eigenschaften, durch ein solches Zusammenhalten des Uebereinstimmenden und Abweichenden, durch ein solches Vereinzeln der Beobachtungen und Versuche glaubte also Baco der Optik eine bessere Zukunft versprechen zu dürfen. Wer unter den Physikern unserer Zeit mögte in Abrede stellen, daſs die Naturwissenschaft gerade durch diese Methode bis zu ihrer gegenwärtigen Höhe gediehen sei?

Von der Erfindung der Mikroskope und Teleskope.

Der Brillenmacher Joannes, und sein Sohn Zacharias Joannides (Jansen) aus Middelburg, erfanden gegen das Ende des sechszehnten Jahrhunderts das zusammengesetzte Mikroskop, dessen Okular ein Zerstreuungsglas ist — Durch den letzteren wurde um das Jahr 1609. das erste Fernrohr zu Stande gebracht — Als der zweite Erfinder ist Lipperseim (Laprey) anzusehen — Simon Marius, Jakob Metius und Galilei haben erweislich das Teleskop nicht erfunden — Christoph Scheiner führt zuerst Kepler's Gedanken aus, Fernröhre mit zwei und drei konvexen Linsen, so wie das sogenannte Helioskop, einzurichten — Rheita hat das Fernrohr mit vier konvexen Linsen zuerst gebraucht, auch ist er der Erfinder des Binokular-Teleskopes — Das zusammengesetzte Mikroskop mit zwei Sammelgläsern ist von Franciscus Fontana erfunden worden — Cornelius Drebbel hat weder an der Erfindung der Mikroskope, noch der Fernröhre Antheil.

Daſs keine Erfindung das Eigenthum eines Einzigen sei, daſs sie vielmehr von ihrem ersten, durch Zufall oder Nachdenken veranlaſsten, Entwurfe nach und nach wachsend, die Vereinigung mannigfacher Talente erfordere, ehe sie zu ihrer Vollendung heran-

gereift ist: diese Behauptung wird durch die Geschichte aller Wissenschaften, insbesondere auch durch die der Optik bestätigt. So wird es erklärlich, weſshalb die Namen der Erfinder so oft ein Gegenstand des Streites gewesen sind, indem Einige den, der die ersten Grundzüge entwarf, Andere den, der, ohne ans Ziel gelangen zu können, einen Schritt weiter that, Andere endlich den, der die vereinzelten Bestrebungen seiner Vorgänger zu einem einzigen Ganzen zusammenzufassen verstand, für den eigentlichen Schöpfer einer Erfindung angesehen wissen wollen.

Auch über den Namen dessen, der das erste Fernrohr, eins der bewundernswerthesten Erzeugnisse geistiger Kraft, zu Stande brachte, sind die Nachrichten in den Quellen selbst sehr verschieden. Das Wahrscheinlichste aus diesen sich widersprechenden Angaben zu entnehmen, ist der Zweck der vorliegenden Untersuchung, bei der ich folgenden Plan befolgen will: ich werde

1) die Schriften, in denen man Aeuſserungen findet, welche darauf hinzudeuten scheinen, daſs die Fernröhre schon vor dem Anfange des siebzehnten Jahrhunderts bekannt waren, anführen;
2) die Zeugnisse, welche die Erfindung einem Middelburger Künstler, Zacharias Joannides;
3) die, welche sie einem anderen Künstler aus Middelburg, Joannes Lipperseim (Laprey), zuschreiben, und
4) die Namen anderer Männer, denen man die Erfindung beigelegt hat,

nennen, um aus der Vergleichung aller dieser Zeugnisse darzuthun, daſs die gewöhnliche Meinung, das erste Fernrohr sei durch Zacharias Joannides zu

Stande gebracht worden, allerdings das Meiste für sich habe.

Hindeutungen auf die Bekanntschaft mit dem Fernrohre vor dem Anfange des siebzehnten Jahrhunderts.

Dafs schon Roger Baco und Porta an die Einrichtung eines Fernrohres dachten, dafs ersterer sogar in prophetischem Geiste auf die endlosen Vortheile, die ein solches Instrument bringen würde, aufmerksam machte, habe ich bereits erwähnt, und dort schon die Gründe angegeben, die es bezweifeln lassen, dafs beiden Männern dies Werkzeug aus der Erfahrung bekannt gewesen sei.

Aeufserungen aber, die sich auf die Kenntnifs des Fernrohres zu beziehen scheinen, findet man schon in viel früherer Zeit. So erzählt Diodorus Siculus [1]), dafs Hekatäus und andere Schriftsteller einer Insel erwähnen, die nicht kleiner, als Sicilien, den Celten gegenüber nach dem Nordpole hin liege, deren Einwohner Priester des Apollo sein, und auf der man den Mond so nahe sehe, dafs man auf ihm etwas, das den Bergen auf der Erde ähnlich ist, gewahr werde. An ein Teleskop kann man aber bei dieser Nachricht des Diodor nur dann denken, wenn man annehmen will, dafs die Druiden — denn die Beschreibung pafst auf keine andere Insel besser, als auf Britannien — schon zur Zeit des Hekatäus, der ein Zeitgenosse Alexanders des Grofsen war, vorzüglichere Fernröhre, als es unsere heutigen sind, mit denen man keine Berge auf dem Monde sehen kann, gehabt haben.

1) Lib. II, cap. 47.

Wie unwahrscheinlich auch die Nachrichten sein, dafs sich Ptolemäus Evergetes auf dem Leuchtthurme der Insel Pharos, und Cäsar an der Küste Galliens optischer Werkzeuge bedient haben, um die Bewegungen des Feindes in weiter Ferne zu beobachten, hieran habe ich schon früher gedacht.

Bestimmter spricht Ditmar, Bischof von Merseburg, der im Anfange des eilften Jahrhunderts starb, in seinem *Chronicon Martisburgense* von einem Rohre zur Beobachtung der Gestirne. Es heifst hier: „*Gerbertus*[1]) *optime callebat astrorum cursus discernere, et contemporales suos variae artis notitia superare. Hic tandem a finibus suis expulsus, Ottonem petiit imperatorem, et cum eo diu conversatus, in Magdeburg horologium fecit, illud recte constituens, considerata per fistulam quadam stella, nautarum duce.*" So sagt auch Cysatus in seinem Werke über den Kometen des Jahres 1618., dafs sich in der Bibliothek des Klosters Scheyern ein Manuscript, das vor vierhundert Jahren geschrieben sei, befinde, in welchem aufser anderen Bildern ein Astronom, der durch ein Fernrohr den Himmel betrachtet, dargestellt sei[2]). Dies bestätigt

1) Vertrieben als Bischof von Rheims, hernach Pabst unter dem Namen Sylvester II. Die Stelle steht in der Helmstädter Ausgabe 1665. von Maderus, lib. VI, pag. 180.

2) *De loco, motu, magnitudine et causis cometae, qui sub finem anni* 1618., *et initium anni* 1619. *fulsit. Ingolstadii*, 1619. pag. 76. Da dies Buch zu den sehr seltenen gehört, so setze ich die Stelle wörtlich her: *An Nicephorus et Anaxagoras illum stellarum erraticarum confluxum, Democritus autem earundem digressum libero oculo conspexerint, non disputo; fortassis et ipsi solo tubo optico phaenomenon illud deprehenderunt. Fuisse enim usum tubi optici antiquis etiam astronomis familiarem, testatur liber vetustissimus in bibliotheca celeberrimi monasterii Scheurensis, scriptus ante* 400

der berühmte Benediktiner Mabillon, der im Jahre 1683., auf Veranlassung Colbert's, eine Reise nach Deutschland unternahm, um die Bibliotheken und Archive dieses Landes kennen zu lernen. Er erzählt [1]), dafs der Abt Gregorius des Klosters Scheyern, in der Diöcese Freising, ihm eine Chronik gezeigt habe, die ein Mönch, Konrad, vom Jahre 1096. angefangen, und bis auf seine Zeit, drei Jahrhunderte hindurch, fortgesetzt hatte, und dafs diese Chronik aufser mehreren anderen Manuscripten auch eine *Historia scholastica* des Petrus Comestor enthalten habe, auf deren ersten Blättern die freien Künste bildlich dargestellt waren. Auf dem dritten, der Astronomie bestimmten, Blatte befand sich ein Bild des Ptolemäus, der durch ein längeres, einem Fernrohre ähnliches Instrument, das vier Auszüge hatte, den Himmel betrachtete [2]).

Da in diesen Nachrichten nichts über die Einrichtung des Rohres gesagt, und es nicht glaublich ist, dafs eine so nützliche Erfindung, wie die des Fernrohres, Jahrhunderte hindurch unbekannt und unbenutzt geblieben sein sollte, so liegt die Vermuthung sehr nahe, dafs man hier nur an ein leeres Rohr, durch welches man die Seitenstralen abhielt, zu denken habe. Im Betreff der von Cysatus mitgetheilten Nachricht ist es überdies nicht unwahrscheinlich,

annos, quo in libro inter caetera schemata etiam astronomus per tubum opticum, in coelum intentum, sidera contemplans visitur.

1) *Joan. Mabillonii Iter Germanicum. Hamb.* 1717. pag. 54.

2) *In tertio folio astronomia exhibetur, adjunctam habens a dextris Ptolemaei effigiem, sidera contemplantis ope instrumenti longioris, quod instar tubi optici, quatuor ductus habentis, concinnatum est.*

dafs der Maler blofs aus seiner Phantasie das Auge des Astronomen mit einem Fernrohre bewaffnet habe.

Eines mit Gläsern versehenen, und einer viel früheren Zeit angehörigen Fernrohres erwähnt Libertus Fromondus in seinen *Meteorologicis* [1]) vom Jahre 1627. mit folgenden Worten: „*Nuper in Hannonia in vetere cuiusdam arcis supellectile dioptricus tubus repertus narratur*, *aeruginosus et multae antiquitatis.*" Diese Nachricht verdient aber um so weniger, berücksichtigt zu werden, da Fromondus selbst kein grofses Vertrauen in dieselbe setzt.

Ich will es auch nicht unerwähnt lassen, dafs Thomas Digges für seinen Vater, Leonhard Digges, einen Mathematiker Englands, der schon 1574. starb, die Erfindung des Fernrohres in Anspruch nimmt. Wie wenig Gewicht man indefs auf diese Angabe Hooke's [2]) zu legen habe, geht schon daraus hervor, dafs dieser selbst es nicht bezweifelt, dafs dieselbe Erfindung auch von Porta gemacht sei.

Es kann demnach die Behauptung, dafs das Fernrohr vor dem Anfange des siebzehnten Jahrhunderts unbekannt war, kaum zweifelhaft sein, zumal da Kepler [3]), dessen ruhmvollste Thätigkeit gerade in diese Zeit fällt, eben diese Meinung bestimmt ausspricht. Er nennt den Erfinder einen Belgier, und hält es für wahrscheinlich, dafs die Erfindung durch die uns schon bekannte Stelle in Porta's Magie, oder vielleicht auch durch eine Figur in seinen *Paralipomenis ad Vitellonem*, pag. 202., veranlafst sei. Dies Werk erschien aber erst im Jahre 1604. Es ist in

1) *Lovanii*, lib. III, cap. 2.

2) *Hooke's Experiment by Derham*, pag. 258. Priestley Gesch. der Optik, pag. 51.

3) *Dissertatio cum Nuncio sidereo. Pragae*, 1610. pag. 18.

dieser Figur ein Sammel- und ein Zerstreuungsglas durch eine gemeinschaftliche Achse verbunden, nicht etwa als das Bild eines Fernrohres, sondern bloſs um zu zeigen, wie durch das erstere die Gegenstände dem Weitsichtigen entfernt, durch das andere dem Kurzsichtigen genähert werden. Mit dieser Behauptung Kepler's stimmen auch, wie wir hernach sehen werden, Galilei und Descartes überein.

Zeugnisse, welche die Erfindung dem Zacharias Joannides (Jansen) zuschreiben.

Eine für die Geschichte der Fernröhre sehr schätzbare Quelle ist des Borellus Schrift *De vero telescopii inventore* [1]), weil sie zwei im Betreffe dieser Angelegenheit gerichtlich aufgenommene Zeugnisse, und ein drittes, besonders glaubwürdiges Dokument enthält, welche über die Umstände, von denen die Erfindung der Fernröhre begleitet war, einen ziemlich befriedigenden Aufschluſs geben. Eins der gerichtlichen Zeugnisse lautet wörtlich so:

Nos Consules, Scabini et Consiliarii civitatis Middelburgi in Selandia jussimus, audiri et examinari Joannem Zacharidem, confectorem conspiciliorum in civitate nostra, aetatis qui esset annorum quinquaginta duorum, et etiam Saram Goedardam, quae inhabitat aedes, quarum signum est crux aurea, in porta interiori huius civitatis, de cognitione certa, quae apud illos simul et singulos eorum esset: quisnam videlicet homo in hac dicta civitate prima conspicilia longa, sive telescopia confecerit. Illi ad interrogata responderunt et declararunt haec, quae sequuntur:

1) *Hagae-Comitum*, 1655.

Et primo praedictus Joannes Zacharides affirmavit, illa telescopia primum esse inventa et confecta a patre suo, cui nomen erat Zacharias Joannides, idque contigisse, ut saepe inaudiverat, in hac civitate anno Christi 1590. *Quod tamen longissimum telescopium, illo tempore confectum, non excessit quindecim aut sedecim pollicum longitudinem. Affirmavit, tunc duo talia telescopia oblata fuisse, unum videlicet illustrissimo principi Mauritio, alterum vero Archiduci Alberto, et tantae similis longitudinis telescopia in usu fuisse usque in annum* 1618. *Tunc demum (ut affirmavit hic testis) ipse et pater ejus, nempe praedictus Joannes et Zacharias Joannides, invenerunt fabricam et compositionem longiorum telescopiorum, quibus etiam nunc utuntur nocte ad inspiciendas stellas et lunam. Insuper affirmavit, quendam, nomine Metium, anno* 1620. *advenisse Middelburgum, et comparasse tale telescopium, cuius confectionis modum conatus est imitari, quantum potuit. Idem et tentasse Cornelium Drebellium. Insuper dixit hic testis, cum haec sunt inventa, patrem suum inhabitasse aediculas, quae sunt in coemeterio templi novi, ubi nunc subhastatio rerum publice fit.*

Post hunc audita est et deposuit Sara Goedarda, et affirmavit, jam esse fere 42 *aut* 44 *annos circiter (nam de certo praefixo tempore non poterat dicere), cum conspicilia longa in hac civitate primum a fratre ejus, Zacharia Joannide, jam mortuo, confecta sint, qui habitavit aedes prope monetam, junctas templo novo. Scientiae suae rationem dixit, quod illa vidisset innumeris vicibus fratrem conficientem talia telescopia.*

In fidem dictorum Nos Consules et Scabini praedicti haec sigillo minori nostrae civitatis jussimus firmari, et per unum ex numero secretariorum nostrorum subscribi, tertio die mensis Martii, anno 1655.

Locus sigilli. *Subsignatum,*
Simon van Beaumont.

Nach der gerichtlichen Aussage des Joannes Zacharides in Middelburg hat also sein Vater, Zacharias Joannides, im Jahre 1590. das Teleskop erfunden. Das längste hat, dieser Aussage zufolge, nicht 15 bis 16 Zoll überstiegen, und diese kurzen Teleskope sind bis zum Jahre 1618. im Gebrauche gewesen, zu welcher Zeit der Vater Zacharias Joannides, zugleich mit dem Zeugen Joannes Zacharides, längere Teleskope erfanden. Eins jener kürzeren wurde dem Prinzen Moritz von Nassau, ein anderes dem Erzherzoge Albert überreicht. Erst im Jahre 1620. kam Metius nach Middelburg, und suchte das Teleskop, so gut er konnte, nachzumachen. Dasselbe versuchte auch Cornelius Drebbel. Die Schwester des Zacharias Joannides, Sara Goedarda, versicherte gleichfalls, dafs sie ihren Bruder sehr oft habe dergleichen Teleskope verfertigen sehen, ohne die Zeit der Erfindung genau angeben zu können.

Man könnte in dieses Zeugnifs, das von nahen Verwandten, dem Sohne und der Schwester des angeblichen Erfinders, abgelegt ist, Zweifel setzen, wenn es nicht durch ein anderes, das unverkennbar den Charakter der Unpartheilichkeit trägt, mit Ausnahme einiger Zeitangaben, im Wesentlichen bestätigt würde. In der genannten Schrift wird nämlich folgender Brief

des Holländischen Gesandten **Borelius** an den Herausgeber **Borellus** mitgetheilt:

Guilelmus Borelius,
Belgii Uniti legatus,
Petro Borello, medico regio,
S. P.

Petis a me, ut, quae comperta habeam de telescopii siderei inventione, tibi per epistolam, id est breviter, declarem. Accipe igitur, quae dicam. Middelburgum, Selandorum metropolis, mihi patria est. Juxta aedes, ubi natus sum, in foro olitorio, templum novum est, cuius parietibus nectuntur aediculae quaedam, satis humiles. Harum unam, prope portam monetariam occidentalem, inhabitabat anno 1591., *cum natus sum, quidam conspiciliorum confector, nomine Hans (uxor ejus Maria), qui filium habuit praeter filias duas, Zachariae nomine, quem novi familiarissime, quia puero mihi vicino vicinus ab ineunte tenerrima aetate colludens semper adfuit, egoque puer in officina ipsi saepiuscule adfui. Hic Hans, id est Joannes, cum filio suo Zacharia, ut saepe audivi, microscopia primi invenere, quae principi Mauritio, gubernatori et summo duci exercitus Belgicae foederatae, obtulerunt, et honorario aliquo donati sunt. Simile microscopium postea ab ipsis oblatum fuit Alberto, Archiduci Austriaco, Belgicae regiae supremo gubernatori. Cum in Anglia anno* 1619. *legatus essem, Cornelius Drebelius, Alkmarianus Hollandus, vir multorum secretorum naturae conscius, ibique regi Jacobo in mathematicis inserviens, et mihi familiaris, ostendit illud ipsum instrumentum mihi, quod Archidux ipsi Drebelio dono dederat, videlicet microscopium Zacha-*

riae istius, nec erat (ut nunc talia monstrantur) curto tubo, sed fere ad sesquipedem longo, cui tubus ipse erat ex aere inaurato, latitudinis duorum digitorum in diametro, insidens tribus delphinis ex aere, itidem subnixis in basis disco ex ligno Ebeno, qui discus continebat impositas quisquilias, aut minuta quaeque, quae desuper inspectabamus forma ampliata ad miraculum fere maxima. Ast longe post, nempe anno 1610., *inquirendo paulatim etiam ab illis inventa sunt Middelburgi telescopia longa siderea, de quibus tibi res est, et unde lunam et reliquos planetas, stellas et sidera inspectamus; quorum specimen unum principi Mauritio etiam obtulit, qui illud inter secreta custodivit, usui futurum forte in expeditionibus bellicis. Ut tamen rumor tam mirandi novi inventi increbuit, et jam in Hollandia et alibi de autore loquerentur homines curiosi, vir quidam hactenus ignotus ex Hollandia Middelburgum venit apud autorem, inquisiturus super secreto isto. Qui cum quaereret conspiciliorum confectorem, in dicta civitate degentem in aedibus parvis, innixis templo novo, casu incidit in Joannem Lapreyum, etiam conspicillificem in vico Caponario, etiam aediculas templo novo innitentes inhabitantem; credens, se esse apud verum inventorem, qui exigua tantum distantia ab illo Lapreyo, in altero latere templi dicti, et angulo satis obscuro morabatur. Et cum Lapreyo sermones de secreto telescopii habuit, qui, homo ingeniosus et observator anxius omnium, quae vir ille aperuit, etiam quaestiones et lunularum sive lentium comparationes jam longas, jam proximas considerans, post dictum Zachariam Joannidem egregia industria ac cura eadem telescopia*

longa invenit, et confecit ad placitum istius viri peregrini. Quare merito hic Joannes Lapreyus etiam pro inventore secundo audiri potest, cum ingenii sui acumine rem non monstratam detexit ex eventu, quod dixi, fecitque illa telescopia sua publici juris, et primus divulgavit.

Res et error tamen brevi sese manifestavit, nam Adrianus Metius, Alkmarianus mathematices professor, et post eum Cornelius Drebellius supra nominatus, re cognita 1620. *Middelburgum venerunt, et non Joannem Lapreyum, sed Zachariam Joannidem adierunt, a quo singuli telescopia pretio compararunt, et multis observationibus et curis, sicut et Galilaeus a Galilaeis, Florentinus Italus, et alii multi doctissimi viri, rem inventam magnopere illustrarunt, inventi primi tamen honore apud illos duos Middelburgenses in solidum manente. Quibus ego seu primis Middelburgensibus seu adornatoribus per hanc meam epistolam nihil quicquam detractum iri volo.* Vale, *vir doctissime, et iis, quae experientia et memoria satis certa mihi dictavit, utere, si lubet. Dabantur Lutetiis, nona die mensis Julii, anno* 1655.

Hiernach ist also Borelius im Jahre 1591. in Middelburg geboren, und wohnt schon als Knabe in der Nähe eines Brillenmachers Hans. Der Sohn desselben, Zacharias, ist der Jugendfreund unseres Zeugen, der versichert, oft gehört zu haben, dafs jener Brillenmacher Hans, mit seinem Sohne Zacharias, die Mikroskope erfunden habe, welche sie dem Prinzen Moritz von Nassau überreichten. Ein anderes wurde hernach dem Erzherzoge Albert übergeben. Borelius selbst sah im Jahre 1619., als er Gesandter in England war, dies letztere Mi-

kroskop, welches der Erzherzog Albert dem bekannten Cornelius Drebbel geschenkt hatte. Dies Instrument war anderthalb Fufs lang, das Rohr desselben war vergoldet, und hatte zwei Zoll im Durchmesser; es stand auf drei ehernen Delphinen, und das Fufsgestell war von Ebenholz. Die auf dasselbe gelegten kleinen Gegenstände erschienen, wenn man von oben in das Instrument sah, wunderbar vergrössert. Erst viel später, im Jahre 1610., wurden von eben jenen Künstlern die längeren Fernröhre zum astronomischen Gebrauche erfunden, von denen sie eins dem Prinzen Moritz überreichten, der aber die Erfindung, von welcher er sich erspriefsliche Dienste für den Krieg versprach, als ein Geheimnifs bewahrt wissen wollte, und, um dies zu erreichen, den Erfinder ansehnlich beschenkte. Da sei ein Mann, zu welchem dennoch das Gerücht jener Erfindung gedrungen war, nach Middelburg gekommen, um das Geheimnifs kennen zu lernen; er sei aber zufällig nicht zum wahren Erfinder, sondern zu einem in der Nähe wohnenden Brillenmacher, Joannes Laprey, gegangen. Dieser, der auf die Fragen des Unbekannten, und auf das, was er ihm über die Erfindung sagen konnte, sorgfältig Acht gab, sei hierauf selbst durch eigenes Nachdenken auf die Erfindung der Teleskope gekommen, und habe sie zuerst zum Verkaufe gestellt. Man könne ihn daher den zweiten Erfinder der Fernröhre nennen. Adrian Metius aber und Cornelius Drebbel sein erst im Jahre 1620. nicht zu Laprey, sondern zum wahren Erfinder, Zacharias Joannides, gegangen, um die Einrichtung der Teleskope kennen zu lernen, und zu vervollkommenen, wie letzteres auch vorzüglich von Galilei geschehen sei.

Dies Zeugnifs verdient besonderen Glauben, weil nicht allein ein gebildeter Mann Bürge ist, sondern weil es auch die in den übrigen Aussagen, welche ich hernach anführen werde, liegenden Widersprüche am befriedigendsten beseitigt. Dies aber mögte befremden, dafs das zusammengesetzte Mikroskop etwa zwanzig Jahre früher, als das Teleskop, von dem Brillenmacher Joannes, dem Vater des Jansen, erfunden sein soll, und doch läfst sich nach der Beschreibung, die Borelius von jenem zuerst erfundenen Instrumente macht, nicht zweifeln, dafs wirklich ein Mikroskop gemeint sei. Leider ist über die innere Konstruktion des Instrumentes, und über die Beschaffenheit der Gläser nichts angegeben. Da man aber anfänglich nur Teleskope, deren Okular ein Zerstreuungsglas war, kannte, so läfst sich kaum zweifeln, dafs auch das erste Mikroskop eine solche Einrichtung gehabt habe.

Huygens hält es für wahrscheinlich, dafs nicht allein die zusammengesetzten Mikroskope, sondern auch die einfachen, erst nach der Erfindung der Teleskope in Gebrauch gekommen sein [1]). Die letzteren, glaubt er, sein bald nach den Fernröhren, die ersteren ungefähr zehn Jahre später erfunden worden, weil Hieronymus Sirturus, der im Jahre 1618. eine Abhandlung „Ueber die Fernröhre" [2]) schrieb, ein so wichtiges Instrument, wie es das Mikroskop ist, nicht mit Stillschweigen übergangen haben würde, wenn er es schon damals gekannt hätte. Huygens ist

1) *Christ. Hugenii Zuilichemii opera reliqua. Amstelodami*, 1728. vol. II, dioptr. pag. 170.

2) *Hieron. Sirturi, Mediolanensis, Telescopium, sive ars perficiendi novum illud Galilaei visorium instrumentum ad sidera, in tres partes divisa. Francof.* 81 Quart-Seiten.

geneigt, den Cornelius Drebbel für den Erfinder der zusammengesetzten Mikroskope zu halten, weil Viele ihm erzählt hätten, dafs Drebbel schon im Jahre 1621. ein Mikroskop in London gehabt, und dafs man ihn damals allgemein für den Verfertiger desselben angesehen habe. Franciscus Fontana behaupte zwar, jene Erfindung schon im Jahre 1618.[1]) gemacht zu haben, doch sei das Zeugnifs des Hieronymus Sirsalis, welches er anführt, nicht älter, als vom Jahre 1625.

Huygens hat es also, wenn ihm jener Brief des Borelius nicht unbekannt war, übersehen, dafs in demselben von einem Mikroskope die Rede ist. Da Sirturus eben diesen Brief, der zugleich darüber Aufschlufs giebt, wie Drebbel zu seinem Mikroskope kam, nicht kennen konnte, so ist die von Huygens ausgesprochene Vermuthung nichts weniger, als glaubwürdig. Was übrigens den Fontana betrifft, so behauptet er, das Mikroskop mit zwei konvexen Linsen

1) *Novae coelestium terrestriumque rerum observationes. Neap.*, 1646., pag. 145. Das Zeugnifs des Sirsalis steht auf der dritten Seite, und lautet so:

„*Ego Hieronymus Sirsalis, soc. Jesu S. T. P. in collegio Neapolitano, omnibus testatum volo, me circiter annum* 1625. *in domo perillustris viri, ac patrii soli Parthenopaei decoris, Fr. Fontanae, vidisse microscopium, et non multo post temporis intervallo telescopium, e duobus convexis ab ipso mira arte compositum, ut merito divino ejus ingenio tam praeclara inventa accepta referenda sint. Telescopium vero e convexo et concavo compactum, fateor eo perfectionis ab eodem perductum, ut, licet multa ac fere omnia, quae Neapolin ex variis partibus illata sunt, perspexerim, ut sum hac in re percuriosus, nullum tamen viderim, quod conferendum, nedum praeferendum sit iis, quae Fontana elaboraverat. Quare multum quidem debent, tam posteri nostro saeculo, quam exteri nostrae urbi, quod virum dederint, qui tantum benemeretur de omni aetate, de toto orbe.*"

erfunden zu haben, welches sich um so weniger widerlegen läfst, da kein Anderer das Verdienst, der Erfinder eines solchen Mikroskops zu sein, für sich in Anspruch nimmt.

Zeugnisse, welche die Erfindung dem Joannes Lipperseim, oder Joannes Laprey zuschreiben.

Mit den von Borelius mitgetheilten Nachrichten stimmen mehrere andere Schriftsteller aus der ersten Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts wenigstens darin überein, dafs das erste Teleskop in Holland zu Stande gebracht, und aus einem Sammel- und Zerstreuungsglase zusammengesetzt gewesen sei, so grofs auch die Willkühr ist, mit der man den Namen des Erfinders behandelt.

Der schon genannte Sirturus hatte aus Interesse für die Kunst, Fernröhre zu verfertigen, eine Reise nach Venedig, Spanien, wo er in Gerona einen gewissen Rogetus fand, der über jene Kunst bereits geschrieben hatte, und durch dessen Bruder sie nach Spanien gebracht war, ferner nach Rom, hierauf 1611. nach Inspruck, und endlich nach Wien gemacht. Im Betreff der Umstände, welche die Erfindung der Fernröhre veranlafsten, giebt er Folgendes an [1]):

„*Adiit* 1609. *seu genius, seu alter vir adhuc ignotus, Hollandi specie, Middelburgi in Selandia Joannem Lipperseim (is vir est solo adspectu insigne aliquid prae se ferens, et perspiciliorum artifex nemo alter est in ea urbe), et jussit, perspicilia plura tam cava, quam convexa confici. Con-*

1) *Telesc.* pag. 24. Dasselbe erzählt Schott in der *Magia univ. nat. et artis*, pag. 491.

dicto die rediit, absolutum opus cupiens, atque, ut statim habuit prae manibus, bina suscipiens, cavum scilicet et convexum, unum et alterum oculo admovebat, et sensim dimovebat, sive ut punctum concursus, sive ut artificis opus probaret. Postea soluto artifice abiit. Artifex, ingenii minime expers, et novitatis curiosus, coepit idem facere ac imitari, nec tarde natura suggessit, tubo haec perspicilia condenda. Ubi unum absolvit, advolavit in aulam principis Mauritii, et hoc inventum obtulit."

Man sieht, wie wohl diese Erzählung zu der von Borelius mitgetheilten stimmt, nur dafs dieser den Glasschleifer nicht Lipperseim, sondern Laprey nennt. Wenn hier im Widerspruche mit allen anderen Zeugen gesagt wird, dafs damals dieser Mann der einzige Brillenmacher in Middelburg gewesen sei, so verdient diese Behauptung eben defshalb keine Berücksichtigung. Dagegen stimmen die glaubwürdigsten Quellen damit überein, dafs das Jahr der Erfindung 1609., und nicht, wie Borelius behauptet, 1610. gewesen sei. Es ist übrigens nicht zu übersehn, dafs Sirturus hier, wie es scheint, wider seinen Willen, übereinstimmend mit Borelius erklärt, dafs man den Lipperseim nicht für den ersten Erfinder der Fernröhre zu halten habe.

Schon aus der Mitte des siebzehnten Jahrhunderts sind die Nachrichten, die der bekannte Rheita über die Fernröhre mittheilt [1]. Er nennt den Erfin-

1) In dem *Oculus Enoch et Eliae, sive Radius sidereomysticus, auctore Antonio Maria Schyrleô de Rheita, ord. Capucinorum concionat. et provinciae Austriae ac Bohemiae quondam praelectore. Antv.*, 1645. Fol., einem Werke, das besonders gegen das Copernicanische Weltsystem gerichtet ist, und das Tychonische in Schutz nimmt. Dem ersten Theile

der Joannes Lippersum aus Seeland, und setzt die Zeit der Erfindung in das Jahr 1609. Ohne anfänglich einiges Gewicht auf das neue Instrument zu legen, soll Lippersum den Vorübergehenden eine Wetterfahne auf einem Thurme sehr vergröfsert, und ganz nahe durch dieses Teleskop gezeigt haben. Doch bald hätte man die grofse Wichtigkeit desselben erkannt, und sei in Schaaren herzugeströmt, um sich durch eigenen Anblick von der Wahrheit der wunderbaren Gerüchte zu überzeugen. Zufällig sei damals der Marquis von Spinola, um wegen des Friedens zu unterhandeln, im Haag gewesen. Er habe das Fernrohr gekauft, und es dem Erzherzoge Albert zum Geschenke gemacht. Ein anderes Fernrohr sei ihm um einen hohen Preis, jedoch unter der Bedingung abgekauft worden, dafs er in der Folge kein ähnliches mache und verkaufe. So wäre diese Erfindung unterdrückt worden, hätte sich nicht der Ruf derselben schon zu weit verbreitet.

Endlich wird auch in einem gerichtlichen, von Borellus mitgetheilten, Zeugnisse der Erfinder nicht Jansen, sondern Laprey genannt. Es lautet so:

Nos Consules, Scabini et Consiliarii civitatis Middelburgi in Selandia jussimus, audiri et examinari viros, quorum nomina sequuntur, videlicet primo Jacobum Wilhelmi, custodem aedium aerarii mercatorii, aetatis fere annorum 70; *pariter Adwoldum Kien, nostrae civitatis nuntium*

ist eine Abhandlung, *Oculus astrospicus binoculus, sive praxis dioptrices*, beigefügt, worin Rheita von den Teleskopen handelt. Der erste Theil ist dem Heilande, der zweite, der die heftigsten Ausfälle gegen die Lutheraner und Calvinisten enthält, der Jungfrau Maria gewidmet. In diesem Geiste wird in einer weitläufigen Abhandlung gezeigt, warum es nur einen Luther oder Calvin, der Päbste aber sehr viele gegeben habe.

Antwerpiensem, annorum 67; *denique Abrahamum Junium, in hac civitate fabrum ferrarium, aetatis* 77 *annorum. Interrogati cum essent super cognitione et scientia eorum, sive junctim, sive separatim, de auctore sive inventore, qui primus in hac civitate fabricavit sive composuit conspicilia longa, sive telescopia, de re illa declararunt et attestati sunt eo modo, ut sequitur:*

Primus ille, nempe Jacobus Wilhelmi, ait, virum illum nominatum fuisse Joannem Lapreyum, et habitasse in vico huius civitatis, dicto Caponario, in aedibus ipsis, quas in praesenti inhabitat sartor pannarius, aut vicinas eis, de quo dubitat. Dixit, illum ipsi notum fuisse, dum conspicilia faceret, et etiam postea, cum tubos longos sive telescopia fabricaret, et hoc factum esse jam ante elapsos fere 50 *annos. Ait, dictum Lapreyum mortuum esse, ut putat, jam* 20 *annis praeteritis, sed bene ipsi constare, Lapreyum illum in hac civitate obiisse. Rationem depositionis addidit, quod hic testis ipsi vicinus propior fuerit, ex distantia solummodo quatuor aut quinque domuum, et bene notum ipsi esse; insuper dictum Joannem Lapreyum, cum primum telescopium ab ipso constructum obtulisset Mauritio principi, ab Excellentia illius dono donatum fuisse, sicut tum temporis inaudivit.*

Edwoldus vero Kien deposuit et declaravit nomen hominis istius, qui telescopia solebat facere, esse Joannem Lapreyum Vesalium, et habitasse in hac civitate in vico Caponario, contra templum novum aedibus junctis, quibus insigne erat telescopium, juxta domum, cujus signum est serpens, quarum aedium proprietarius fuit Lapreyus. Affir-

mavit etiam hic, anno 1610. *incepisse Lapreyum conficere dicta telescopia, mortuum vero esse mense Octobri* 1619., *et ibidem sepultum esse. Rationem addidit hic testis scientiae suae, quod Lapreyi istius filiam in uxorem habuerit, et quod dictus Lapreyus dominis ordinibus, et Mauritio principi ex telescopiis suis aliqua obtulit sub donativo, et privilegio in triennium ipsi concesso.*

Denique Abrahamus Junius etiam attestatus fuit et declaravit, primum hominem, qui in hac civitate tubos longos confecit, nominatum fuisse Hans, id est Joannem, non observato cognomine ipsius, sed vulgo dictum Joannem conspicillificem; eumque inhabitasse vicum Caponarium huius civitatis, quanquam ignoret, quibus praecise in aedibus; et jam elapsis, ut rebatur, circiter 45 *aut* 46 *annis, Joannem illum prima conspicilia illa longa fabricasse, ipsumque innotuisse huic testi multis annis ante, cum nondum conspicilifex esset, sed opera erat fabri murarii. Rationes scientiae suae dedit, quod hic testis in vicinia ipsius Joannis in vico, de Wall dicto, iisdem in aedibus, quibus nunc, inhabitavit per annos fere* 50, *et exequias istius Joannis comitatus est. Ait etiam, vere se nosse et saepe inaudivisse, praedictum Joannem fecisse tubos longos, et telescopia in usum illustrissimo principi Mauritio.*

Nos Consules et Scabini supra dicti in fidem hoc instrumentum fecimus muniri sigillo minori civitatis nostrae, et signari ab uno secretariorum nostrorum, tertio die mensis Martii, anno 1655.

Locus sigilli. *Signatum,*
Simon van Beaumont.

Der Brief des **Borelius** giebt hinreichenden Aufschlufs darüber, wie **Laprey** habe für den Erfinder der Fernröhre angesehen werden können, zumal von Zeugen, die durchaus keine Sachkenntnifs hatten, und deren Bildungsstufe überdies kein besonderes Vertrauen erweckt.

Dafs aber der von **Sirturus** angegebene Name **Lipperseim** derselbe mit **Laprey** sein dürfte, ist bei der Nachlässigkeit, mit welcher man in jener Zeit die Eigennamen, besonders unbedeutender Personen, schrieb, und, wenn sie mehrsilbig waren, in kürzere zusammenzog, nicht unwahrscheinlich.

Franciscus Fontana und Simon Marius machen Ansprüche an die Erfindung der Fernröhre; auch sind Jakob Metius und Galilei als die Erfinder genannt worden.

Der schon erwähnte Jesuit **Franciscus Fontana** behauptet [1]), sich auf das Zeugnifs seines Freundes **Zupus** berufend, das Fernrohr mit zwei konvexen Gläsern schon im Jahre 1608. erfunden zu haben. Da er aber erst in einer Schrift vom Jahre 1646., als dies Teleskop bereits in den Händen aller Astronomen war, mit diesen Ansprüchen auftritt, so kann man die Schuld nur ihm selbst beimessen, wenn er von Niemand als der Erfinder eines solchen Fernrohres genannt wird. Auch bezeugt der Jesuit **Zupus** nur, dafs er den **Fontana** seit dem Jahre 1614. ein solches Teleskop habe gebrauchen sehen.

In Deutschland will **Simon Marius** (**Mayer**) aus Gunzenhausen das erste Teleskop zu Stande ge-

1) *Novae coelestium terrestriumque rerum observationes*, pag. 7. in der Vorrede.

bracht haben, indem er dabei folgende Umstände anführt [1]). Im Herbste des Jahres 1608. habe ein Kaufmann in Frankfurt einem gewissen Fuchs von Bimbach, dem Freunde des Marius, erzählt, dafs sich daselbst ein Belgier aufhalte, der ein Instrument ersonnen habe, durch welches man die entferntesten Gegenstände so deutlich, als ob sie ganz in der Nähe wären, sehen könnte. Fuchs von Bimbach habe den Belgier rufen lassen, um, wenn sich die Wahrheit des Gerüchtes bestätigen sollte, das Instrument zu kaufen. Da aber dieser einen zu hohen Preis forderte, so habe zwar Fuchs das Fernrohr nicht gekauft, dem Marius aber die Vermuthung mitgetheilt, dafs es aus einem Sammel- und einem Zerstreuungsglase zusammengesetzt sein müsse. Diesen Gedanken versichert nun Marius geprüft, und so das erste Fernrohr in Deutschland verfertigt zu haben.

Sollte das Jahr 1608. richtig angegeben sein, so würde Borelius mindestens um zwei Jahre geirrt haben. Nach Italien wenigstens verbreitete sich der Ruf der Erfindung erst im Jahre 1609., wie dies aus einer Äufserung Galilei's, die ich gleich anführen werde, unverkennbar hervorgeht.

Descartes nennt den Jakob Metius, den Bruder des bekannten Geometers Adrian Metius, den Erfinder der Fernröhre, ohne die Quelle, aus der er

1) *Mundus Jovialis, anno 1609. detectus, ope perspicilli Belgici. Norimb.*, 1614, in der Vorrede.

Marius sagt an eben dieser Stelle, dafs er schon im Sommer 1609. durch das von ihm selbst verfertigte Teleskop die Jupitersmonde entdeckt habe. Da er indefs erst in dieser Schrift vom Jahre 1614. von dieser seiner Entdeckung spricht, nachdem Galilei dieselbe schon in dem *Sidereus nuncius* vom Jahre 1610. bekannt gemacht hatte, so ist es des Marius eigene Schuld, wenn man in die Wahrheit seiner Aussage Zweifel gesetzt hat.

diese Nachricht schöpfte, anzugeben. Mit der Orthographie seiner Zeit spricht er sich hierüber so aus [1]: „*A la honte des nos sciences cette invention si utile et si admirable n'a premierement esté trouvée, que par l'experience et la fortune. Il y a environ trente ans, qu'un nommé Jaques Metius de la ville d'Alcmar en Hollande, (homme, qui n'avoit jamais etudié, bien qu'il eust un pere et un frere, qui ont fait profession des mathematiques, mais qui prenoit particulierement plaisir à faire des miroirs et verres bruslans, en composant mesme l'hyver avec de la glace, ainsi que l'experience a monstré, qu'on en peut faire), ayant à cete occasion plusieurs verres de diverses formes, s'avisa par bonheur, de regarder au travers de deus, dont l'un estoit un peu plus espais au milieu, qu'aux extremités, et l'autre au contraire beaucoup plus espais aux extremités, qu'au milieu, et il les appliqua si heureusement aus deux bouts d'un tuyau, que la premiere des lunettes, dont nous parlons, en fut composée.*" Auch Schott, der sich auf die Autorität des Adrian Metius, und des Nürnbergischen Patriciers Harstorffer stützt, schreibt die Erfindung dem Jakob Metius zu [2]). Diese Behauptung wird aber durch die oben mitgetheilten Zeugnisse, in denen einstimmig ausgesagt ist, dafs Metius erst im Jahre 1620. nach Middelburg gekommen sei, widerlegt [3]). Uebrigens giebt Borelius dem Metius nicht den Vornamen Jakob, sondern Adrian.

1) In der Dioptrik vom Jahre 1637., discours 1.

2) *Magia univ. nat. et artis*, pag. 491.

3) Auch Huygens versichert (*Opera reliqua. Amstel.*, 1728. vol. II. dioptr. pag. 125.), bestimmt zu wissen, dafs ein Middelburger Künstler um das Jahr 1609. vor Jakob Metius Teleskope verfertigt habe.

In der vom 1. Oktober 1611. datirten Vorrede des Joannes Bartolus zu einem optischen Traktate des Antonius de Dominis [1]) wird endlich Galilei als der Erfinder der Fernröhre genannt. Aber auch ihn kann man wenigstens nicht für den ersten Erfinder halten, wenn man seine eigenen Worte über diese Angelegenheit liest. „Vor ungefähr zehn Monaten", sagt er in seinem im Anfange des Jahres 1610. erschienenen *Sidereus nuncius* [2]), „erfuhr ich, dafs in Belgien ein Instrument erfunden sei, durch welches man entfernte Gegenstände deutlich sehen könne, und mancherlei wunderbare Gerüchte wurden über diese Erfindung verbreitet, die von Einigen bezweifelt, von Anderen geglaubt wurden. Als mir Jakob Badovere in Paris eben diese Nachrichten gab, sann ich darüber nach, auf welche Weise ein solches Instrument zu konstruiren sein mögte, und hatte bald darauf, von den Gesetzen der Dioptrik geleitet, mein Ziel erreicht. An den Enden eines bleiernen Rohres befestigte ich zwei Gläser, ein plan-konvexes und ein plan-konkaves. Als ich das Auge dem letzteren näherte, sahe ich die Gegenstände etwa dreimal näher, und neunmal gröfser, als wenn ich sie mit unbewaffnetem Auge betrachtete. Bald hatte ich ein besseres Instrument verfertigt, das eine mehr als sechszigmalige Vergröfserung gab. Da ich keine Arbeit und keine

1) *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride, tractatus M. Antonii de Dominis, per Joannem Bartolum in lucem editus. Venetiis*, 1611. In der Vorrede heifst es: *Sciscitari saepius placuit, quidnam (M. Ant. de Dominis) de novo instrumento illo sentiret, quod nuper ad inspicienda, quae sunt remotissima, a nostrate viro, insigni mathematico Galileo, in lucem editum ferebatur, et Venetiis potissimum publicatum.*

2) *Francof.*, pag. 9.

Kosten scheuete, kam ich endlich dahin, ein so vortreffliches Instrument zu erhalten, daſs mir die Gegenstände beinahe tausendmal gröſser, und mehr, als dreiſsigmal näher erschienen." Ist indeſs diese Versicherung Galilei's aufrichtig, so wäre sein Verdienst gröſser, als das des Holländischen Erfinders, den unverkennbar nur der Zufall begünstigt hatte. Scheiner [1]) aber, und nach ihm Borellus und Montucla [2]) setzen, nicht ohne triftige Gründe, Zweifel in die Worte Galilei's, weil die Dioptrik damals noch zu sehr in der Kindheit gewesen sei, als daſs man eine solche Erfindung anders, als durch Zufall und Versuche hätte machen können; auch sei es unwahr, daſs die Theorie nur ein Sammel- und ein Zerstreuungsglas erfordere, um Gegenstände näher und gröſser zu sehen; es sei vielmehr wahrscheinlich, daſs Galilei auch einige Nachrichten über die Zusammensetzung des Teleskopes erhalten, und wenigstens dies erfahren habe, daſs es zwei Gläser erfordere, die an den Enden eines Rohres angebracht werden müſsten, und dann sei freilich die Zahl der Kombinationen der Gläser nicht groſs gewesen.

Wenn aber auch Galilei nicht der Erfinder des Teleskopes ist, so war er es doch besonders, der zuerst die hohe Wichtigkeit der neuen Erfindung zeigte.

Als im April oder Mai des Jahres 1609., wie aus der so eben angeführten Stelle des *Sidereus nuncius* hervorgeht, das Gerücht zu ihm drang, daſs in Holland ein Instrument erfunden sei, mit welchem man entfernte Gegenstände deutlicher und vergröſsert sehe,

1) *Rosa Ursina. Bracciani*, 1630. pag. 130.
2) *Histoire des mathém.*, tom. II, pag. 233.

war er zufällig in Venedig anwesend[1]). Sogleich kehrte er nach Padua, wo er damals eine Professur der Mathematik bekleidete, zurück, um selbst, wo möglich, mit den unvollkommenen Gläsern, die er dort besafs, ein Teleskop zu Stande zu bringen. Nach kurzer Zeit ans Ziel gelangt, setzte er sich in den Besitz besserer Gläser, stellte ein vollkommeneres Fernrohr zusammen, und begab sich nach Venedig, um die Senatoren dieser Republik von der Wahrheit des verbreiteten Gerüchtes zu überzeugen, und dem Dogen Leonardo Donati ein Teleskop, das er unterdessen noch vollkommener einzurichten gesucht hatte, zu überreichen. Zum Lohne für die Erfindung und für die Offenheit, mit der sie Galilei, gegen die Sitte jener Zeit, mitgetheilt hatte, vermehrte der Senat sein Gehalt um das Dreifache.

Die vielen astronomischen Entdeckungen, die Galilei mit seinem vollkommeneren Teleskope innerhalb weniger Monate gemacht hatte, veröffentlichte er in dem bereits genannten *Sidereus nuncius*, dessen Inhalt er auf dem Titel angiebt[2]). Sein Teleskop

1) Man findet die hier mitgetheilten Nachrichten theils in dem *Sidereus nuncius*, theils in der Vorrede zu Kepler's Dioptrik, theils auch in dem Briefwechsel Galilei's mit Kepler, in der Ausgabe von Hansch.

2) *Sidereus nuncius, magna longeque admirabilia pendens, suspiciendaque proponens unicuique, praesertim vero philosophis atque astronomis, quae a Galileo Galileo, patritio Florentino, Patavivi gymnasii publico mathematico, perspicilli nuper a se reperti beneficio sunt observata in lunae facie, fixis innumeris, lacteo circulo, stellis nebulosis, apprime vero in quatuor planetis, circa Jovis stellam disparibus intervallis atque periodis, celeritate mirabili circumvolutis; quos, nemini in hanc usque diem cognitos, novissime auctor deprehendit primus, atque Medicea sidera nuncupandos decrevit. Francof. in Paltheniano*, 1610. 4to. 55 Seiten.

mufste schon einen hohen Grad von Vollkommenheit erreicht haben, da er versichert, dafs es ihm den Mond, dessen Entfernung er auf sechszehn Erddurchmesser annimmt, so genähert habe, als ob er nur um zwei Erddurchmesser entfernt wäre, so dafs er seinen Diameter etwa dreifsigmal vergröfsert erhielt. Er fand seine Oberfläche sehr uneben, und mit hohen Bergen und tiefen Kratern durchzogen. Es gelang ihm, selbst einige Gegenden der Milchstrafse, und den Nebelfleck, welcher „die Krippe" heifst, in einzelne Sterne aufzulösen; ganz besonderes Gewicht aber legt er auf seine im Jahre 1610. gemachte Entdeckung der vier Jupitersmonde, die er, zur Ehre des Grofsherzogs von Toscana, Cosmus II. von Medici, dem er auch das Buch gewidmet hat, die Mediceischen Sterne nannte.

In einem Briefe [1]) an Kepler vom 19. August 1610. erzählt Galilei die Begegnisse, die gleich nach diesen Entdeckungen ihn selbst betrafen. Der Grofsherzog erbat sich von ihm das vorzüglichste seiner Teleskope, das die Oberfläche mehr, als tausendmal vergröfserte, um es unter seinen übrigen Kostbarkeiten aufbewahren zu können, gab ihm ein Geschenk von mehr, als tausend Dukaten (*munus pretii plus, quam aureorum mille*), und berief ihn nach Florenz mit einem jährlichen Gehalte von tausend Dukaten, ohne ihm dafür ein öffentliches Amt aufzulegen, sondern lediglich mit dem Wunsche, dafs er in ungestörter Ruhe seine Theorie der Mechanik vollenden möge. Galilei beklagt sich übrigens schon in diesem Briefe über die vielfachen Verfolgungen, die er von unwissenden Gegnern zu dulden habe, und dankt Kep-

1) *Ed.* Hansch, pag. 94.

ler'n, dafs er beinahe der einzige sei, der, ohne selbst die Mediceischen Sterne gesehen zu haben, der Wahrheit dieser Entdeckung Glauben geschenkt hätte.

Kepler berichtet in der Vorrede zu seiner Dioptrik, dafs Galilei bald, nachdem er den *Sidereus nuncius* bekannt gemacht, und ersterer hierauf in der *Dissertatio cum Nuncio sidereo* geantwortet hatte, nach Prag geschrieben habe, es sei wieder eine neue Entdeckung durch ihn gemacht worden, die er aber, damit er auch Anderen Zeit lasse, zu berichten, was sie Neues entdeckt hätten, und damit zugleich Niemand sich für den früheren Entdecker ausgeben könne, mit versetzten Buchstaben mitgetheilt habe. Kepler glaubte darin die Worte: „*Salve umbustineum geminatum Martia proles*", finden und hieraus entnehmen zu können, dafs die Entdeckung den Planeten Mars betreffe, bis er aus einem Briefe Galilei's vom 13. November 1610. erfuhr, dafs in ihnen die Worte: „*Altissimum planetam tergeminum observavi*", enthalten sein. Letzterer erzählt nämlich in diesem Briefe, er habe zu seinem gröfsten Erstaunen gefunden, dafs der Saturn nicht aus einem Sterne bestehe, sondern aus dreien, so nahe an einander stehenden, dafs sie sich gegenseitig zu berühren scheinen. Man müsse aber, um sich hiervon überzeugen zu können, ein Fernrohr, das die Oberfläche mehr, als tausendmal vergröfsere, gebrauchen.

Aber auch hiermit war der Umfang der vielen Entdeckungen, die Galilei in so kurzer Zeit gemacht hatte, noch nicht geschlossen. Noch ehe er Padua verliefs, entdeckte er Flecken in der Sonne, theilte aber, wider seine sonstige Gewohnheit, diese Entdeckung nur seinen nächsten Freunden mit. Sie

wurde daher früher, schon den 13. Juni 1611., durch Johann Fabricius [1]), Prediger zu Ostell in Ostfriesland, und im Jahre 1612. durch Scheiner [2]) dem gröfseren Publikum bekannt.

Gegen das Ende des August 1610. ging Galilei nach Florenz. In den letzten Monaten dieses Jahres beobachtete er hier, wie gleichfalls aus einem von Kepler in der Vorrede zu seiner Dioptrik angeführten Briefe vom 11. December 1610. hervorgeht, die Venus, und fand bei ihr dieselben Lichtwechsel, die wir an dem Monde wahrnehmen. Auch diese Entdekkung hüllte er in die Worte ein: *Haec immatura a me jam frustra leguntur o. y.*, in denen man die Buchstaben zu den Worten: *Cynthiae figuras aemulatur mater amorum*, *i. e. Venus imitatur figuras lunae*, finden wird. Im März 1611. ging er nach Rom, um dort seine Entdeckungen, und unter diesen auch die Sonnenflecken, mitzutheilen.

Die übrigen Lebensumstände Galilei's sind bekannt. Ich bemerke nur noch, dafs er schon im Jahre 1615. von dem Inquisitionsgerichte in Rom belangt wurde, indem man als Anklage gegen ihn aufstellte, „*quod teneret, tanquam veram, falsam doctrinam a multis traditam, solem videlicet esse in centro mundi et immobilem, et terram moveri motu etiam diurno.*" Im Jahre 1616. wurde er, nach abgelegtem Versprechen, weder mündlich, noch schriftlich das

1) *Narratio de maculis, in sole observatis. Vitembergae.*

2) *Tres epistolae de maculis solaribus, scriptae ad Marcum Velserum. Aug. Vind.* 1612. *Non. Jan.* 4to. Der erste Brief ist vom 12. November 1611. Scheiner nennt weder hier, noch in einer anderen, an eben diesen Velser gerichteten Schrift, *De maculis solaribus. Aug. Vind.* vom 25. Juli 1612., seinen Namen. Beide sind unterschrieben: *Tuus Apelles, latens post tabulam.*

Copernicanische System vertheidigen zu wollen, auf freien Fuſs gesetzt, sein Proceſs aber im Jahre 1633., nachdem der *Dialogo di Galileo Galilei* 1632. erschienen war, von neuem aufgenommen. Er starb in Arcetri, unweit Florenz, den 8. Januar 1642., in dem Geburtsjahre Newton's, im 78. Jahre seines Alters.

Sollte es gegründet sein, daſs Galilei, als die Inquisition ihn zwang, die Wahrheit abzuschwören, mit kaum unterdrücktem Unwillen leise gesagt habe: „*E pur si muove*" (und doch bewegt sich die Erde); sollte also die Ueberzeugung hiervon wirklich unumstöſslich bei ihm gewesen sein: so wird die Geschichte der Wissenschaften nie ihr Bedauern verschweigen können, einen um das Menschengeschlecht so hochverdienten Mann einen Leugner seiner wohlbegründeten Ueberzeugung nennen zu müssen. Ihm, einem der Gebildetsten seiner Zeit, hätte es vor allen Anderen geziemt, dem Fanatismus mit gerechtem Stolze entgegenzutreten, und um den Preis seines Lebens die ganze Last der Schande und des Abscheues auf die Urheber solchen Frevels zu wälzen. Haben doch andere, im Gebiete der Wissenschaften weniger bedeutende Männer — um der vielen religiösen Märtyrer nicht zu gedenken, und nur an Paoli Sarpi und Giordano Bruno zu erinnern — durch keine Schreckmittel dahin gebracht werden können, daſs sie die Wahrheit verleugneten, und dadurch, so viel an ihnen war, die Morgenröthe einer besseren Zeit heraufgeführt!

Der wahrscheinliche Erfinder des sogenannten Holländischen Fernrohres ist Jansen.

Als Resultat der hier angestellten Untersuchung ergiebt sich also, daſs das Fernrohr mit einem kon-

kaven Okulare, welchem man den Namen des Holländischen oder Galileischen zu geben pflegt, um das Jahr 1609. in Middelburg erfunden sei. Wie aber der Künstler, der das erste Fernrohr dieser Art zu Stande brachte, geheifsen habe, ob es Jansen, oder Lipperseim oder Laprey gewesen sei; dies dürfte, nach den vorhandenen Quellen, wohl nie zur geschichtlichen Gewifsheit erhoben werden können, wie denn schon Huygens, ungeachtet er in einer, der Erfindung so nahen Zeit lebte, es nicht zu entscheiden wagt [1]). Weil aber Sirturus behauptet, dafs Lipperseim das nur nachzuahmen gesucht habe, was ein Anderer bereits kannte, und Laprey, in dem glaubwürdigsten Zeugnisse, nur der zweite Erfinder genannt wird, so ist allerdings die gewöhnliche, sich auf eben dieses Zeugnifs stützende Meinung, dafs Jansen der wahre Erfinder der Fernröhre sei, die wahrscheinlichere. Die dadurch erregten Zweifel, dafs Borelius das Jahr 1610., und Zacharides sogar erst das Jahr 1618. als dasjenige angiebt, in welchem Jansen angefangen habe, längere Teleskope zu verfertigen, können freilich nur durch die Annahme von Gedächtnifsfehlern, die bei der langen Zwischenzeit leicht möglich waren, in dem Zeugnisse des Zacharides vielleicht auch durch die Voraussetzung eines Druckfehlers beseitigt werden.

Die Erfinder der Teleskope mit zwei, drei und vier konvexen Gläsern.

Da ich hier zugleich die Erfinder der übrigen Fernröhre nennen will, so sehe ich mich genöthigt, der Zeitfolge ein wenig vorzugreifen.

1) *Opera reliqua. Amsteled.*, 1728. vol. II, dioptr. pag. 125.

Kepler bestimmte, wie wir in seiner Dioptrik sehen werden, die Wirkungen der Fernröhre mit zwei und drei konvexen Linsen blofs in Folge seiner Theorie, ohne durch die wirklich ausgeführte Konstruktion solcher Teleskope die Richtigkeit seiner Schlüsse geprüft zu haben. Der erste Optiker, der beide Arten von Fernröhren aus eigener Erfahrung kannte, ist Christoph Scheiner, der Verfasser der *Rosa Ursina*, jenes bekannten Werkes, das noch heute wegen der grofsen Sorgfalt, mit der die über die Sonnenflecken viele Jahre hindurch angestellten Beobachtungen dort niedergelegt sind, seinen Werth nicht verloren hat [1]). Im zweiten Buche beschreibt er das Holländische Fernrohr, verfolgt den Weg der Lichtstralen durch die Linsen desselben, und fährt dann so fort: „*Si similes duas lentes aptaveris in tubum, oculumque debite applicaveris, videbis everso quidem situ, sed magnitudine, claritate et amplitudine incredibili objecta quaecunque terrea. Sed et astra quaelibet in obsequium visus coges; nam cum ea omnia rotunda sint, eversio situs totius adspectum, quoad configurationem visualem, non turbat, id quod secus est in objectis terreis, quemadmodum in luna quoque idem animadverti potest, cum neque rotunda semper, neque homogenea existat. Si pari ratione lentes duas convexas coloratas tubo oculoque accommodaveris, habebis helioscopium mirificum, et protrahes, quidquid in sole absconsum fuerit. Eadem arte natum est illud admirabile microsco-*

1) *Rosa Ursina, sive sol ex admirando facularum et macularum suarum phaenomeno varius, a Christophoro Scheiner, Germano Suevo, e societate Jesu, ad Paulum Jordanum II., Ursinum Bracciani ducem. Bracciani. Impressio coepta* 1626., *finita* 1630. Fol. 770 Seiten.

pium, quo musca in elephantum, et pulex in camelum amplificatur. Quod si de erecto situ quis velit movere scrupulum, habes per duo convexa situm erectum in charta; per tria convexa, rite collocata, situm erectum in oculo transspiciente." Da Scheiner kurz vorher erzählt, er habe schon vor dreizehn Jahren dem Erzherzoge Maximilian von Oestreich, und bald hernach auch dem Kaiser selbst, die Sonnenflecken durch einen Tubus mit zwei konvexen Gläsern auf einer weifsen Wand in aufrechter Lage gezeigt, sich also des von ihm sogenannten Helioskops bedient, bei welchem das Okular so gestellt wird, dafs das umgekehrte Bild des Objektivs aufserhalb der Brennweite jenes Glases steht, so läfst sich nicht zweifeln, dafs er das Teleskop mit zwei konvexen Linsen, welches man das Keplersche oder astronomische zu nennen pflegt, schon seit dem Jahre 1613. wirklich gebraucht habe [1]).

Um so auffallender ist die zuversichtliche Behauptung Rheita's, er erst habe Kepler's Probleme praktisch gelöst. In dem schon genannten Werke *Oculus Enoch et Eliae*, welches im Jahre 1645. erschien, sagt nämlich Rheita in der Vorrede zu der *Praxis dioptrices*, dafs das Holländische Fernrohr zwar von Galilei verbessert, dafs es aber, seines kleinen Gesichtsfeldes wegen, zu Beobachtungen am Himmel weniger tauglich sei. Er hätte da-

1) Klügel bemerkt in einer Anmerkung zu Priestley's Geschichte der Optik, pag. 97., Scheiner müsse sich eines Holländischen Fernrohres als Helioskops bedient haben, da er das astronomische Fernrohr noch nicht gekannt haben konnte. Klügel hatte also jene Stelle in der *Rosa Ursina* nicht gelesen. Die blofs aus der Theorie hergeleitete Konstruktion des Helioskops ist übrigens schon von Kepler (*Dioptr.*, prop. 88.) angegeben.

her Kepler's Vorschlag, ein Fernrohr mit zwei konvexen Linsen zusammenzusetzen, ausgeführt (*Kepleri problemata perspectiva ad praxin redegimus*), und sein Erstaunen nicht mäfsigen können, als er mit einem Blicke ein so grofses Feld am Himmel übersehen hätte. Es sei ihm gelungen, selbst funfzig Sterne auf einmal im Fernrohre zu zählen. Aber selbst mit dieser Entdeckung nicht zufrieden, habe er zwei Teleskope von gleicher Wirkung so an einander gefügt, dafs er zugleich mit beiden Augen durch beide sehen konnte, und der Unterschied zwischen einem solchen Binokular- und einem einfachen Teleskope sei kein anderer gewesen, als der zwischen dem Gebrauche eines einzigen, und beider Augen. Die Gegenstände hätten nämlich um das Doppelte gröfser, deutlicher und heller geschienen.

Die Vorzüge des Binokular-Teleskopes, die Rheita hier rühmt, sind allerdings zum Theil begründet, indem die hierbei obwaltende Täuschung dadurch, dafs man zwei Bilder desselben Gegenstandes erhält, wohl erklärlich ist, ungeachtet diese Vorzüge durch die mit dem Gebrauche eines solchen Instrumentes verbundene Unbequemlichkeit zum Theil wieder aufgehoben werden; die Fernröhre mit zwei und drei Sammelgläsern aber sind nicht allein von Scheiner, wie wir so eben gesehen haben, sondern das erstere ist wahrscheinlich auch von Athanasius Kircher [1]) und Cabäus [2]) vor Rheita gebraucht worden.

Dagegen mufs Rheita für den Erfinder des Teleskopes mit vier konvexen Linsen gehalten werden. Zum Schlusse der genannten Abhandlung theilt er

1) *Ars magna lucis et umbrae. Romae*, 1646., pag. 836. Der Censur wurde dies Werk schon im Jahre 1644. vorgelegt.

2) *Schotti magia univ. nat. et artis*, pag. 516.

nämlich die neue Entdeckung: „*Convexa quatuor melius dicta objecta erigunt, multumque amplificant, rite vero. Tertium colloca in puncto confusionis. Sunt vero vitra tria ocularia convexa, objectum quartum*", so mit, dafs jedesmal auf einen Buchstaben des einen Wortes ein Buchstabe des anderen folgt, die beiden Worte *Convexa quatuor* z. B. geschrieben sind: *Cqounavteuxoar*. So tief auch das Geheimnifs dieses Räthsels verborgen zu sein schien, so fand doch ein Arzt, Jakob Amling, dem Schott es zeigte, seine Lösung auf den ersten Blick [1]).

Auch giebt sich Rheita in jener Abhandlung viele Mühe, das günstigste Verhältnifs der Durchmesser des Objektivs und Okulars bei einem astronomischen Fernrohre zu ermitteln. Er theilt das Ergebnifs derselben in einer Tabelle mit, und ist demnach der erste, der diese mühsame Untersuchung, und zwar lediglich auf dem Experimental-Wege unternahm.

Marcus Antonius de Dominis.

Umgekommen im Jahre 1624.

Er erklärt die Entstehung des Hauptregenbogens durch eine doppelte Brechung, und eine einzige Zurückwerfung der Sonnenstralen in jedem einzelnen Tropfen — Theodoricus de Saxonia hatte schon im Anfange des vierzehnten Jahrhunderts dieselbe Erklärung gegeben, ja selbst die Entstehung des äufseren Regenbogens richtig erklärt; indefs war sein Buch gänzlich unbeachtet geblieben.

Die Erklärung des schönen, sich so oft wiederholenden Phänomens des Regenbogens finden wir in

1) *Schotti magia univ. nat. et artis*, pag. 523.

der Mitte des sechszehnten Jahrhunderts fast noch auf demselben Standpunkte, auf welchem sie Aristoteles gelassen hatte, nicht etwa, weil man in der langen Zwischenzeit von zweitausend Jahren gar keinen Fortschritt in dieser schwierigen Theorie gemacht hätte, sondern weil über einem Buche, das schon im ersten Jahrzehent des vierzehnten Jahrhunderts geschrieben wurde, das ungünstige Geschick waltete, völlig unbekannt und unbeachtet zu bleiben.

Der Verfasser dieses, auf der Bibliothek in Basel als Manuscript befindlichen, und *De radialibus impressionibus* betitelten, Buches [1]) ist ein Deutscher Dominikaner, Theodoricus de Saxonia [2]). Er unterscheidet fünf Arten von Radiationen: die Zurückwerfung von Spiegeln; die Brechung in durchsichtigen Körpern; die Zurückwerfung von der Rückseite eines durchsichtigen Körpers, die mit einer Brechung beim Ein- und Austritte des Lichtstrales verbunden ist; die zweimalige Zurückwerfung von der Rückseite, und eine fünfte Radiation zur Erklärung der Höfe um die Gestirne. Die Art und Weise, wie er die Entstehung des inneren Regenbogens durch die dritte Radiation, und die des äufseren durch die vierte erklärt, ist dieselbe, die Descartes befolgt, und die wir jetzt noch als die allein richtige anerkennen. Die von diesem aber so befriedigend beantwortete Frage, warum nur gewisse Stellen im Tropfen die Sonnenstralen zurückzuwerfen vermögen, weifs Theodori-

1) Gilbert's Annalen Bd. 52., pag. 406. Venturi fand zuerst dies Manuscript wieder auf.

2) In der Zuschrift an den Pater Aymericus nennt er sich: *Frater Theodoricus, ordinis fratrum praedicatorum provinciae Theutonicae, theologiae facultatis qualitercumque professor.*

cus freilich nicht besser zu erledigen, als durch die Willkühr der Natur, die diese Stellen besonders hierzu bestimmt habe; indefs wird man dies bei einer so frühen Schrift, und bei dem damaligen Zustande der Mathematik nicht anders erwarten.

So gebührt also den Deutschen das Verdienst, die ersten Aufschlüsse in der Theorie des Regenbogens gegeben zu haben. Da aber die folgenden Optiker keine Kenntnifs jenes Buches hatten, so ist es ohne allen Einflufs auf die Entwickelung unserer Wissenschaft geblieben. Drei Jahrhunderte vergingen, ehe man wieder auf den schon von Theodoricus eingenommenen Standpunkt gelangte.

Jodocus Clicthoveus (Josse Clicthove) [1]) hatte den kindischen Einfall, den zweiten Regenbogen für einen blofsen Widerschein des ersten zu halten. Auch Cardanus blieb bei der Annahme einer einzigen Reflexion stehen, und des Maurolycus gekünstelte Hypothese mufste die Sache nur noch mehr verwirren. Zwar hatte Johann Fleischer [2]) aus Breslau die Entstehung des Hauptregenbogens aus einer doppelten Brechung, und einer einzigen Zurückwerfung der Sonnenstralen erklären zu können geglaubt, die Zurückwerfung aber nicht auf den Hin-

1) Er war Doktor der Sorbonne, und starb als Dekan des Andreasstiftes zu Chartres im Jahre 1543. Die angeführte Meinung äufsert er in der Schrift *Philosophiae naturalis paraphrasis*. *Paris*, 1501. Fol. pag. 272.

2) *De iridibus doctrina Aristotelis et Vitellionis*, *tam necessariis demonstrationibus*, *quam physicis et opticis causis aucta*. *Witebergae*, 1571. 235 Seiten 8vo. Fleischer hatte als Schulmann zu Goldberg dies Buch geschrieben. Im Jahre 1572 wurde er Prediger an der Elisabethkirche in Breslau. Man sehe *Scheibel de Joan. Fleischeri in doctrinam de iride meritis*. *Vratisl.*, 1762.

tergrund der Tropfen versetzt. Er ist vielmehr der Meinung, dafs die Stralen, nachdem sie sich in der vorderen und hinteren Seite der Tropfen gebrochen haben, mit der Farbe, welche sie durch die Brechung erlangen, durch andere dahinter gelegene Tropfen reflektirt [1]), vielleicht auch nach dieser Reflexion in den vorliegenden Tropfen nochmals gebrochen würden [2]). Bei der Erklärung des zweiten Regenbogens aber folgt er dem Aristoteles. Erst Harriot äussert in einem Briefe an Kepler vom Jahre 1606. [3]), dafs die Entstehung des Hauptregenbogens in einer Reflexion auf der konkaven Seite der Tropfen, und in einer Brechung in der konvexen zu suchen sein dürfte, ohne jedoch diesen Gedanken weiter verfolgt, und die Entstehung auch nur des Hauptregenbogens erklärt zu haben.

Dies war der Zustand der Theorie des Regenbogens im Anfange des siebzehnten Jahrhunderts, als Marcus Antonius de Dominis auf den glücklichen Gedanken kam, das Verhalten der Sonnenstralen beim Durchgange durch eine mit Wasser gefüllte gläserne Kugel näher zu beobachten, um vielleicht auf diesem Wege einiges Licht in den so dunkelen Gegenstand zu bringen. De Dominis war schon als Jüngling in den Orden der Jesuiten getreten, und hatte sich hier durch seine Kenntnisse so ausgezeichnet, dafs ihm das Bisthum Segni, in der Folge sogar das Erzbisthum Spalatro übertragen wurde. Die sorgenfreie

1) Pag. 81.
2) Pag. 86.
3) In der Ausgabe von Hansch *Epist.* 233. *Hoc de iride nunc dico, quod causa demonstranda est in una guttula per reflexionem in concava superficie, et refractionem in convexa. Nihil tamen dixi ob mysteria, quae latent.*

Lage und das hohe Ansehn, dessen er in dieser Stellung genofs, waren aber nicht im Stande, seine Hinneigung zum protestantischen Lehrbegriffe zu unterdrücken. Bei der Inquisition der Ketzerei angeklagt, mufste er zweimal eine Reise nach Rom machen, wo er das letzte Mal nur unter strengen Drohungen aus dem Kerker entlassen wurde. Er verkaufte hierauf seine Güter, ging nach England, wurde Dekan zu Windsor, und predigte und schrieb gegen die katholische Religion. Er blieb in England bis zum April des Jahres 1622., worauf er, überredet von dem Spanischen Gesandten Gondomar, der ihn einen Kardinalshut hoffen liefs, wenn er die protestantische Religion abschwören würde, nach Rom zurückkehrte. Hier verleugnete er zwar anfänglich die Religion, zu welcher er sich in England öffentlich bekannt hatte, erregte jedoch bald hernach neuen Verdacht, und wurde in den Inquisitionskerker geworfen, in welchem er, 64 Jahre alt, umkam. Sein Leichnam wurde zugleich mit seinen Schriften verbrannt, und die Asche in die Tiber geworfen.

Der von de Dominis über die Dioptrik geschriebene Traktat [1]) ist nicht von ihm selbst, sondern von seinem Freunde Joannes Bartolus herausgegeben. Als dieser von der Erfindung der Fernröhre hörte, wandte er sich, so erzählt er in der Vorrede, an de Dominis mit der Bitte, ihm über die Einrichtung des neuen Instrumentes Aufschlufs zu verschaffen. De Dominis übergab ihm hierauf jenen Traktat, dessen gröfseren Theil er schon vor zwanzig Jahren, als er an den Jesuitergymnasien in Padua und Brixen lehrte,

1) *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride. Venetiis*, 1611. 4to. 78 Seiten.

geschrieben hatte, fügte demselben die Kapitel, welche die Fernröhre betreffen, hinzu, und gestattete seine Bekanntmachung in dieser verbesserten Gestalt. So wenig aber auch alles, was de Dominis über die Glaslinsen und das Holländische Fernrohr beizubringen weifs, mit der gleichzeitigen Dioptrik Kepler's den Vergleich aushält, so verdient doch die Erklärung, die er von dem Entstehn des inneren Regenbogens giebt, schon defshalb eine vorzügliche Beachtung, weil er zuerst ihre Richtigkeit auf dem Experimental-Wege bestätigte. Sein Verdienst würde geringer zu schätzen sein, wenn er des Theodoricus, oder auch nur Fleischèr's Schrift gekannt hätte. Er nennt letzteren jedoch nicht, während er die Meinungen aller seiner Vorgänger über eben diesen Gegenstand prüft; dafs ihm aber des Theodoricus Buch unbekannt war, kann man schon aus der ungereimten Erklärung, die er über die Entstehung des äufseren Regenbogens giebt, folgern.

De Dominis gründet seine Theorie auf einen Versuch, den er mit gläsernen soliden, oder auch mit Wasser gefüllten Kugeln, die er zu diesem Zwecke hatte einrichten lassen, angestellt, und der ihm folgendes Resultat gegeben hatte [1]): Hält man eine

1) Cap. 4. Da Montucla den Traktat des de Dominis nicht gehörig würdigt, Priestley denselben nicht gründlich studirt hatte, indem er sogar die Hauptsache, den Versuch mit der gläsernen Kugel, übersieht, und Klügel ihn nicht aus eigener Ansicht kannte, so will ich die betreffende Stelle hersetzen, zumal da dies Buch, auf dessen Bedeutsamkeit erst Göthe wieder besonders aufmerksam gemacht hat, zu den sehr seltenen gehört:

„*Corpus globosum sive sphaericum diaphanum, plenum sive solidum, praeterquam quod reflectit ex sua superficie convexa radios, facit aliam reflexionem lucis cum aliqua refractione. Nam radius lucis ex centro corporis lucidi* (Fig. 5.) B *pene-*

solche Kugel (Fig. 5.) *A* gegen die Sonne *B*, so erleiden die Stralen Aenderungen mancherlei Art. Ein

trat irrefractus recta usque ad V *per centrum* A, *cum sit perpendicularis; radii vero* BC *et* BD *franguntur in* C *et* D *ad perpendicularem, et penetrant similiter fundum* G *ulterius in* V, *eoque multam lucem congregant simul cum radiis interioribus* BR *et* BO, *qui et ipsi fracti in punctis* R *et* O *perveniunt circa punctum* G *in fundo globi* A, *quod et faciunt reliqui radii ex* B, *quicunque incidunt in superficiem convexam totam a* C *usque ad* D. *Sed interim omnes radii fracti, congregati circa fundum* G, *non modo partim penetrant et uniuntur ad punctum* V, *ubi et ignem possunt accendere, sed etiam bona ex parte cum eadem lucis intensione ob dictam aggregationem reflectuntur a fundo* G. *Qui fundus* G *varias facit huius lucis multiplicatae reflexiones, servata lege reflexionum ex sphaerico concavo, sed tamen nonnihil variata, quia est reflexio post jam dictas refractiones, et quia non modo reflectuntur radii incidentes in globum* A *ex centro corporis lucidi* B, *sed etiam infiniti alii ex reliquo corpore lucido. Quam varietatem nunc explicare demonstrationibus, non est operae pretium. Satis est, me experimentis clarissimis comperisse, in phiala aqua plena, et globulis vitreis, aqua similiter plenis, a me ad hunc tantum effectum perfici curatis: ex fundo* G, *opposito soli directe, praeter refractionem, quae fit in* V, *duplices fieri reflexiones, alias statim per latera versus* F *et* E *circulariter, alias vero versus solem prope perpendicularem* BA *ad partem anteriorem, versus* H *et* I *similiter circulariter; et non per unam solam lineam indivisibilem, sed per plures utrobique, cum aliqua latitudine, ut sunt in priori reflexione* GF, GN, GM, *in altera vero* GI, GK, GL. *Quae latitudo oritur partim ex refractionibus, quae intra globum fiunt, cum aggregatione plurium radiorum, partim ex magna latitudine corporis luminosi, ut paulo ante dicebamus.*"

Ueber die Brechung auf der hinteren Seite der Tropfen spricht sich de Dominis nie so bestimmt aus, wie über die auf der vorderen. Auch hier deutet er jene Brechung nur durch die Worte an: *praeter refractionem, quae fit in* V. Von einer abermaligen Brechung der vom Hintergrunde der Kugel reflektirten Stralen ist hier übrigens gar nicht die Rede. Erst in einem der folgenden Kapitel (cap. 15., pag. 65.) hält er auch eine solche Brechung für möglich: „*partim fortasse ex aliqua fractione in egressu ex globulo.*"

Theil derselben wird bei dem Eintritte in die Kugel sowohl, als auch bei dem Ausgange aus derselben gebrochen, und vereinigt sich in einem Punkte *V*; ein anderer Theil wird von ihrer vorderen konvexen Oberfläche *CD* reflektirt; ein dritter endlich wird von ihrem Hintergrunde *G* zurückgeworfen, und nach zwei verschiedenen Richtungen hin, die beide kreisförmig sind, verbreitet: die eine mehr seitwärts nach den Linien *GF*, *GE*, die andere der Sonne näher nach den Linien *GI*, *GH*. Diese beiden Reflexionen erfolgen aber nicht in untheilbaren Linien, sondern sie zeigen eine gewisse Breite. Die eine nämlich dehnt sich in den Stralenbüschel *GF*, *GN*, *GM* rings um die Kugel kreisförmig aus, die andere, gleichfalls kreisförmig, in den Stralenbüschel *GL*, *GK*, *GI*. Der Stral *GF*, der am wenigsten in die Kugel eindringt, ist deſshalb der lebhafteste, von hochrother Farbe (*puniceus* oder *rubeus*), der Stral *GN* ist ein wenig dunkeler, nämlich grün (*viridis*), der am tiefsten eindringende *GM* ist blau (*purpureus* oder *pavonaceus*) [1]). Anders verhält es sich mit den Stralen *GL*, *GK*, *GI*, unter denen *GL* der lebhafteste, also hochroth ist, weil er sich dem auf dem Hintergrunde der Kugel winkelrecht stehenden *BG* am meisten nähert; der Stral *GK* aber, der sich weiter von diesem Lothe entfernt, ist grün, und *GI* blau [2]).

Man sieht nun schon, wie de Dominis die Entstehung des Hauptregenbogens und seiner Farben erklären werde. Die Körperchen, deren Hintergrund die Stralen reflektirt, nennt er Dunstbläschen (bald *guttulae*, bald *corpuscula rorida*). Solche sein (Fig. 6.)

1) Cap. 13., pag. 56.
2) Cap. 15., pag. 63.

12*

B, *C*, *D*; die Sonne sei in *A*; *BH*, *BG*, *BF* der untere Stralenbüschel von *B*; *CG*, *CF*, *CI* der von *C* u. s. w., so sieht das Auge in *F* das Bläschen *B* durch den hochrothen Stral *FB*, *C* durch den grünen *FC*, *D* durch den blauen *FD*. Wird es nach *G* versetzt, so erhält es von *C* blaues, von *B* grünes, und von dem über *B* befindlichen Dunstbläschen das rothe Licht u. s. w. [1]).

De Dominis erklärt also die Verschiedenheit der Farben auf dieselbe Weise, die wir schon bei Aristoteles kennen gelernt haben, durch die Beimischung von mehr oder weniger Dunkelem zu dem Hellen. In einem der vorhergehenden Kapitel [2]) spricht er ausführlicher über seine Farbentheorie, aus der ich folgende Stelle heraushebe: „Aufser den in den Körpern beharrenden, und ihnen eigenthümlichen Farben, aus welcher Ursache sie auch entstehen mögen, giebt es in der Natur einige veränderliche und unbeständige, die man emphatische oder apparente nennt, die ich aber glänzende zu nennen pflege. Es ist mir nicht zweifelhaft, dafs diese Farben aus dem Lichte entstehen, ja ich halte sie für nichts anderes, als das Licht selbst. Denn ist in einem Körper reines Licht, wie in den Sternen und dem Feuer, und verliert es aus irgend einem Grunde das Funkeln, so zeigt sich ein solcher Körper weifs. Wird dem Lichte einige Dunkelheit beigemischt, die ihm aber noch den Durchgang gestattet, und es nicht völlig auslöscht, so entstehen die Mittelfarben (*colores intermedii*). Defshalb ist unser Feuer röthlich, weil ihm Rauch beigemischt ist, der es verdunkelt; defshalb sind auch die

1) Cap. 13., pag. 57.
2) Cap. 3., pag. 9.

Gestirne in der Nähe des Horizontes von röthlicher Farbe, weil die dazwischen gelegenen Dünste sie trüben. Wir können eigentlich drei Mittelfarben unterscheiden. Die erste Beimischung des Dunkelen, welche den Glanz des Weifsen nur wenig trübt, macht das Licht roth, denn die rothe ist die glänzendste der Mittelfarben zwischen den Grenzen der weifsen und schwarzen, wie wir dies auch bei den dreiseitigen Glasprismen sehen, wo der Sonnenstral, der zunächst dem brechenden Winkel durch dasselbe geht, wo also die geringste Dicke und folglich die geringste Dunkelheit ist, roth gefärbt aus demselben heraustritt. Dann folgt das grüne Licht, das eine bedeutendere Dicke des Prisma durchdrungen hat; endlich das blaue bei einer noch gröfseren Stärke des Glases. Denn nach dem Verhältnifs der bedeutenderen oder geringeren Dicke des Prisma nimmt die Dunkelheit zu oder ab. Ein wenig mehr Dunkelheit macht die Farbe grün; kommt noch mehr hinzu, so wird sie blau, welche die dunkelste unter den mittleren ist. Wird endlich das Licht noch mehr getrübt, so tritt Finsternifs ein, obgleich diese vielmehr eine Privation des Lichtes, als eine positive Farbe zu nennen ist, wefshalb auch das Gesicht sehr schwarze Körper und völlige Finsternifs auf dieselbe Weise beurtheilt. Die übrigen Farben sind aus diesen gemischt."

Den äufseren Regenbogen erklärt de Dominis auf dieselbe Weise, wie den inneren, durch die zweite Reflexion vom Hintergrunde der Tropfen in den Richtungen (Fig. 5.) *GI*, *GK*, *GL*.

In dem letzten, dem achtzehnten Kapitel, wird Einiges über die Höfe, Nebensonnen und Wettergallen (*virgae*) beigebracht. De Dominis ist der Meinung, dafs allen diesen Erscheinungen eine Zurück-

werfung des Lichtes, wie schon Aristoteles behauptet hatte, zum Grunde liege, nicht aber, wie Vitello vermuthete, eine Brechung desselben.

Das wesentlichste Verdienst, welches de Dominis sich um die Optik erworben hat, besteht also darin, dafs er zuerst eine Reflexion des Lichtes auf dem Hintergrunde der Tropfen aufser Zweifel setzte.

Johann Kepler.

Geb. 1571., gest. 1630.

Er bestimmt den Ort der durch Spiegel und Gläser bewirkten Bilder genauer, als Euklid und Alhazen — Mittelst einer zweckmäfsigen Vorrichtung, die Brechung aus Luft in Glas zu messen, findet er, dafs der gröfste Winkel im Glase, wenn der Winkel in der Luft ein rechter ist, 42° betrage, woraus er folgert, dafs die Brechung beim Uebergange aus einem dichteren in ein dünneres Mittel zuweilen in eine Zurückwerfung des Lichtes übergehen könne — Er nähert sich dem wahren Brechungsgesetze, entdeckt die Brennweiten der gleichseitigen doppelt-konvexen und der plan-konvexen Linse, ist der Erfinder der Teleskope mit zwei und drei Sammelgläsern, und stellt die erste Theorie der Fernröhre auf — Begründung der richtigen Theorie des Sehens — Die Lichtstärken divergirender Stralen nehmen im umgekehrten Verhältnisse der auffangenden Ebenen ab.

Die Lebensumstände dieses ausgezeichneten Mannes sind zu bekannt, als dafs ich bei der Beschreibung derselben verweilen dürfte; über seine optischen Schriften aber will ich eine ausführliche Nachricht geben.

Zwei Werke sind es besonders, die Kepler'n, auch als Optiker, einen unvergänglichen Namen erhalten werden, seine „Supplemente zum Vitello",

und seine „Dioptrik". In dem ersteren hatte er freilich den Kampf gegen die scholastische Schule noch nicht völlig bestanden; Weitschweifigkeit, Unverständlichkeit, ja selbst Irrthum ziehen sich durch das ganze Werk hindurch, von so grofsem Scharfsinne es auch sonst zeugen mag. Die spätere Dioptrik dagegen ist durch Klarkeit und Bündigkeit ausgezeichnet; Eigenschaften, die dies an so vielen Entdeckungen reiche Büchelchen um so schätzbarer machen, je mehr man sich durch die Breite und Verworrenheit der Vorgänger Kepler's ermüdet fühlt.

Die Supplemente [1]) sind in fünf Kapitel abgetheilt, von denen das erste von der Natur des Lichtes, und besonders von den Farben; das zweite von der runden Gestalt des durch eine eckige Oeffnung einfallenden Sonnenlichtes; das dritte von dem Orte der Bilder; das vierte von dem Maafse der Brechungen, und das fünfte von den Funktionen der Bestandtheile des Auges handelt.

Im ersten Kapitel erklärt er die Verschiedenheit der Farben durch die verschiedenen Grade der Durchsichtigkeit und Dichtigkeit der brechenden Mittel; die Farben des Regenbogens aber, die nur an der Grenze des Lichtes und Schattens entstehen sollen, aus einer Verringerung des Lichtes, und einer Uebertünchung desselben mit einem wässerigen Stoffe [2]). Schwarz

1) *Ad Vitellonem Paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur. Francof.*, 1604. 4to. 424 Seiten. Das Buch ist dem Kaiser Rudolph II. gewidmet.

2) *Color est lux in potentia, lux sepulta in pellucidi materia, si jam extra visionem consideretur; et diversi gradus in dispositione materiae, causa raritatis et densitatis, seu pellucidi et tenebrarum, diversi item gradus luculae, quae materiae est concreta, efficiunt discrimina colorum .... Et quidem in confinio lucis et umbrae omnes (iridis colores) resul-*

nennt er die Farbe, die kein Licht aussendet; sie sei defshalb auch die wärmste, weil das meiste Licht in ihr verzehrt werde.

In diesem Kapitel finden wir auch zum ersten Male den Hauptsatz der Photometrie: „die Lichtstärken divergirender Stralen nehmen im umgekehrten Verhältnisse der auffangenden Ebenen ab", in einem klaren Beweise entwickelt.

Das Bemerkenswertheste von dem, was er im zweiten Kapitel über die runde Gestalt des durch eine eckige Oeffnung einfallenden Sonnenlichtes sagt, habe ich schon bei Maurolycus angeführt.

In dem dritten Kapitel unternimmt Kepler die schwierige Untersuchung über den Ort der Bilder. Euklid und seine Nachfolger hatten das Bild in das Loth versetzt, das von dem Gegenstande auf die spiegelnde oder brechende Fläche gefällt wird, ohne irgend einen Grund anzugeben. Diese Lücke will nun Kepler ergänzen. „Der Ort des Bildes", sagt er, „ist der Punkt, in welchem die aus beiden Augen durch den Zurückwerfungs- oder Brechungspunkt gezogenen Gesichtsstralen [1]) zusammentreffen. Jeder Gesichtsstral aber liegt in der Zurückwerfungs- oder Brechungsebene, die winkelrecht auf der spiegelnden oder brechenden Fläche steht, und jedes Auge hat seine eigene Zurückwerfungs- oder Brechungsebene. Der Durchschnittspunkt der Gesichtsstralen, d. h. das Bild des leuchtenden Punktes, liegt daher in der Durchschnittslinie dieser beiden Ebenen, die winkel-

tant, ut certum sit, ex attenuatione lucis et superinjectione materiae aqueae existere.

1) *Radii visorii i. e. lineae lucidae ex oculo per punctum repercussus vel refractionis in continuum per imaginationem eductae.*

echt auf der spiegelnden oder brechenden Fläche steht, und in der sich zugleich der leuchtende Punkt selbst befindet. Aus diesem Grunde also liegt der Gegenstand und sein Bild in demselben Lothe, das von jenem auf die spiegelnde oder brechende Fläche gefällt wird. Da aber Ebenen, die winkelrecht auf einer Kugelfläche stehn, durch den Mittelpunkt derselben gehen müssen, so wird auch der Durchschnitt zweier solchen Ebenen, d. h. die Linie, in welcher der Gegenstand und sein Bild liegen, durch den Mittelpunkt der Kugel gehn. Fallen aber die Gesichtsstralen beider Augen in dieselbe Zurückstralungs- oder Brechungsebene, ein Fall, der freilich gegen die Gewohnheit der Augen ist, aber bei einer schrägen Stellung derselben vorkommt: so treten die Bilder in konvexen Spiegeln und in dichteren Mitteln aus dem Einfallslothe heraus, nach der Seite der Augen hin, in konkaven Spiegeln aber auf die entgegengesetzte Seite."

Die letzte Behauptung Kepler's, dafs das Bild nicht jedesmal in dem Einfallslothe liege, ist zu wichtig, als dafs ich seinen Beweis, wenigstens für konvexe Spiegel, nicht mittheilen sollte. Der Mittelpunkt des konvexen Spiegels (Fig. 7.) *EG* sei *L*, und *LD* ein Loth gegen die Erweiterung desselben. In diesem Lothe nehme man den Gegenstand *D* an, von welchem die Stralen *DE* und *DG* ausgehen, und der erstere nach dem einen Auge *C*, der andere nach dem anderen *H* reflektirt werden, so dafs *C* und *H* in derselben Reflexions-Ebene *DLC* befindlich sind. Das Bild von *D* ist alsdann *S*, der Durchschnittspunkt der beiden Gesichtsstralen *CE* und *HG*. Verlängert man *ES* bis zum Einfallslothe in *T*, zieht aus *L* durch *E* die Linie *LX*, aus *D* die mit *TE* parallele

DX, und durch E eine Tangente EK bis zum Einfallslothe, so ist, weil die Winkel DEX, TEL und DXL gleich sind,

$$DE = DX, \text{ daher}$$
$$LD : LT = ED : ET,$$

und, weil der Winkel DET durch EK halbirt ist,

$$DK : KT = ED : ET,$$

folglich

$$LD : LT = DK : KT.$$

Gesetzt nun, es könnte das Bild von D im Einfallslothe liegen, der Gesichtsstral GH den Stral EC also in T schneiden, so ziehe man auf dieselbe Weise, wie vorhin, eine Linie LY durch L und G, DY parallel mit TG, und durch G eine Tangente GV bis zum Einfallslothe. Man hätte alsdann, wie für den Punkt E,

$$LD : LT = DV : VT,$$

folglich auch

$$DK : DV = KT : VT.$$

Da aber diese Proportion ungereimt ist, so kann sich die Stralen-Pyramide CSH nicht bis zum Einfallslothe LD hin erstrecken, der in diesem Lothe gelegene Punkt T kann nicht das Bild von D sein.

Dafs in konvexen Spiegeln das Bild zuweilen aus dem Einfallslothe heraustreten könne, hatte Kepler hierdurch allerdings bewiesen, nicht aber, dafs es immer auf der Seite der Augen liegen müsse. Diese Lücke in dem Keplerschen Beweise läfst sich jedoch, mit Zuziehung der obigen Proportionen, leicht ergänzen. Der Punkt S wird nämlich nicht auf der linken Seite des Einfallslothes LD liegen können, wenn der verlängerte Gesichtsstral HG dieses Loth nicht unterhalb T, etwa in M, schneiden kann. Gesetzt, es wäre dies möglich, so hätte man, wie oben, zuerst für den Punkt E:

$$LD : LT = DK : KT,$$

und für den Punkt G:

$$LD : LT = DV : VM,$$

folglich

$$DK : DV = KT : VM,$$

welche Proportion aber nicht Statt finden kann.

Siebzig Jahre später nahm Isaak Barrow [1]) diese Untersuchung über den Ort der Bilder von neuem auf. Auch er bestritt mit Recht die seit Euklides gangbare Ansicht, dafs der Ort des Bildes jedesmal in den Durchschnittspunkt des Einfallslothes, und des reflektirten oder gebrochenen Strales zu setzen sei. Die Theorie und Erfahrung hatten diesen Satz allerdings bei ebenen Spiegeln gelehrt; zu voreilig aber hatte man ihn auch auf sphärische Spiegel, und auf gebrochene Stralen, für jede Lage des Auges ausgedehnt. Denn stellt man einen dünnen Gegenstand senkrecht ins Wasser, so wird man, bei einer aufmerksameren Beobachtung, das von der Seite betrachtete Bild nicht als die Verlängerung des aufserhalb des Wassers befindlichen Stückes sehen, wie dies doch nach dem Euklideischen Principe geschehen müfste, sondern man sieht es ein wenig aus dem Einfallslothe herausgerückt, und zwar nach der Seite der Augen hin. Eben so wird man das von der Seite betrachtete Bild eines gegen einen konvexen oder konkaven Spiegel senkrecht gehaltenen dünnen Stabes nicht als die Verlängerung desselben wahrnehmen, sondern es wird sich entweder disseits nach den Augen hin, oder jenseits ein wenig von dem Einfallslothe entfernen. Doch ist die Ab-

1) *Lectiones opticae et geom. Londini*, 1674. Lectio XII. et sqq.

weichung des nach dem Euklideischen Principe bestimmten Bildes von dem, welches die Erfahrung giebt, nur sehr unbedeutend. Diese Erscheinungen sind es, deren Erklärung Barrow von neuem unternahm, ohne, wie es scheint, die Untersuchungen Kepler's, der eben dasselbe gefunden hatte, zu kennen. Die Beweise Barrow's ermangeln aber so sehr der Präcision, dafs ich sie nicht weiter verfolgen mag, zumal da ich schon Kepler's Beweis mitgetheilt habe [1]).

In diesem Kapitel giebt Kepler auch die Umstände an, von denen unser Urtheil über die Entfernung eines Gegenstandes abhängt. Uns selbst unbewufst, nehmen wir den Abstand der beiden Augen zu Hilfe, wenn anders diese geringe Entfernung und die des Gegenstandes noch vergleichbar sind, und bestimmen den Ort des letzteren durch ein Dreieck, dessen Grundlinie der Abstand der beiden Augen ist, und dessen Seitenlinien die aus jedem der beiden Augen nach dem Gegenstande gerichteten Gesichtslinien sind. Je nach Verschiedenheit der Winkel an der Grundlinie dieses Dreieckes beurtheilen wir die verschiedenen Entfernungen der Gegenstände. Dieses, die Entfernungen messende, Dreieck (*triangulum distantiae mensorium*) kann bei kleineren Entfernungen selbst für ein Auge konstruirt werden, indem alsdann der Durchmesser der Pupille die Grundlinie wird.

1) Isaak Barrow bestimmt auch die von den Bildern der sphärischen Spiegel beschriebenen Kurven, wenn der Gegenstand senkrecht gegen die Achse, oder auch in anderen Lagen gehalten wird. Was über die Gestalt des Bildes, wenn der Gegenstand winkelrecht auf der Achse steht, in wenigen Zeilen in der Anmerkung zum 23sten Theoreme der Katoptrik des Euklides gesagt ist, wird bei Barrow zwei Vorlesungen hindurch auf eine höchst ermüdende Weise vorgetragen.

Das vierte Kapitel, welches von dem Messen der Brechungen handelt, eröffnet Kepler mit der Schlichtung eines Streites, der zwischen Tycho und Rothmann, einem Mathematiker des Landgrafen von Hessen, darüber geführt war, ob die Dichtigkeit der oberen Luftregionen, und die der unteren verschieden sein, und ob die astronomische Stralenbrechung für jede Höhe, mit Ausnahme des Zenithes, Statt finde. Beides war von Tycho behauptet worden. Kepler entscheidet diesen Streit dahin, dafs, wenn Tycho und Rothmann das richtige Maafs der Brechungen angewandt hätten, der erstere nicht eine stätige Abnahme in der Dichtigkeit der Luft behauptet, der andere aber die Brechung des Lichtes in jeder Höhe nicht geleugnet haben würde. Tycho würde dann vielmehr die Grenze der Atmosphäre scharf abgeschnitten gefunden haben; eben so, wie einem Auge in der Luft die Oberfläche des Wassers erscheint. Man wird bei so falschen Resultaten auch ohne meine Erinnerung voraussetzen, dafs Kepler in der ganzen weitschweifigen Untersuchung, worin er, zur Bestimmung der Brechungen, sogar die Kegelschnitte zu Hilfe nimmt, vielen Irrthümern unterliegt.

Das Bemerkenswertheste dieses Kapitels ist ohne Zweifel die Berichtigung der seit Ptolemäus gangbaren Meinung, dafs das Verhältnifs zwischen dem Einfalls- und dem gebrochenen Winkel konstant sei. Das Verhältnifs dieser Winkel bei Luft und Glas hatte Kepler, doch nur innerhalb der ersten 30° des Einfallswinkels, ungefähr 3 : 1 gefunden, bei grösseren Einfallswinkeln aber hatten seine Beobachtungen den gebrochenen Winkel gröfser, und um so mehr wachsend gegeben, je schiefer die Stralen einfielen, so dafs bei dem gröfsten Einfallswinkel von

90° der gebrochene Winkel nicht, wie es nach jenem Verhältnisse sein müſste, 30°, sondern 48° hatte. Dies brachte ihn auf den Gedanken, das Brechungsverhältniſs mit einer trigonometrischen Linie, die im Anfange des Quadranten unmerklich, dann aber bei gleichen Aenderungen des zugehörigen Winkels um so schneller wächst, je mehr sich dieser einem rechten nähert, in Verbindung zu setzen. Er wählte die Sekante, bei der diese Eigenschaft freilich am meisten in die Augen fällt, und sahe den gebrochenen Winkel als aus zweien zusammengesetzt an, aus einem, welcher der Neigung des einfallenden Strales proportional ist, und aus einem anderen, der von der Sekante des Brechungswinkels abhängt. Kepler selbst fühlte, wie diese Theorie zu gekünstelt sei, um als ein Naturgesetz gelten zu können; er hoffte aber mit Recht, einen Schritt näher zur endlichen Entdeckung des wahren Brechungsgesetzes gethan zu haben.

Die Ursache der Brechung sucht Kepler in dem Widerstande der dichteren Mittel, welche Hypothese aber schon von Harriot widerlegt wurde [1]), der gefunden hatte, daſs Oliven-, Terpentin- und Steinöl eine stärkere Brechungskraft haben, als Wasser, destillirter Essig, Wein, Weingeist und Salzwasser, ungeachtet jene Körper specifisch leichter, also weniger dicht sind, als diese.

Genauere und ausführlichere Untersuchungen über die brechende Kraft der Körper wurden erst gegen das Ende des siebzehnten Jahrhunderts angestellt. Sie bestätigten Harriot's Behauptung; zugleich aber schien aus ihnen hervorzugehen, daſs die brechende Kraft gleichartiger Körper allerdings im Verhältnisse

1) In der Ausgabe von Hansch *Epist.* 233. vom J. 1606.

ihrer Dichtigkeit stehe. Besonders war es Lowthorp, der die Aufmerksamkeit auf diese Untersuchungen von neuem lenkte. Durch einen vor der Königlichen Societät in London im Jahre 1698. angestellten Versuch zeigte er nämlich, wie man das Brechungsverhältnifs aus der Torricellischen Leere in die gewöhnliche Luft messen könne, und dafs dies Verhältnifs 1 : 0,999640 sei [1]). Auf Veranlassung des jüngeren Cassini, der bei diesem Versuche zugegen gewesen war, liefs die Pariser Akademie denselben wiederholen, jedoch ohne den erwarteten Erfolg. Die Societät trug daher die nochmalige Untersuchung der Sache Hauksbee'n auf, der mit den nöthigen, nach den Anordnungen Halley's eingerichteten, Instrumenten versehen wurde. Diese bestanden in einem zehn Fufs langen Fernrohre, in dessen Brennpunkt ein horizontaler Faden ausgespannt war, und in einem Prisma, dessen zwei Seiten aus Glasplatten mit parallelen Oberflächen, die in die Nuthen metallener Kanten eingelassen waren, bestanden; die dritte Seite aber hatte eine Röhre mit einem Hahne, um durch eine Pumpe die Luft im Prisma verdünnen oder verdichten zu können. Dies war so grofs, dafs es ein kleines Heberbarometer, die Dichtigkeit der Luft zu messen, aufnehmen konnte. Es liefs sich um zwei Stifte, wie um eine Achse, drehen, und hatte einen brechenden Winkel von 64°.

Man sieht, welche Idee dieser Geräthschaft zum Grunde liegt. Da sich nämlich die Brechungen an der äufseren und inneren Seite einer jeden Glasplatte aufheben, so wird man durch das Prisma einen Gegenstand an derselben Stelle sehen, an der er sich

1) *Philos. Transactions.* No. 257. Smith's Optik, pag. 438. sqq.

wirklich befindet, wenn die Luft im Inneren des Prisma gleiche Dichtigkeit mit der äufseren hat; bemerkt man dagegen, wenn die innere Luft verdichtet oder verdünnt ist, eine Aenderung in der Lage des Gegenstandes, so wird sich eben hieraus das Brechungsverhältnifs aus der gewöhnlichen in die dichtere oder dünnere Luft herleiten lassen.

Den 15. Juni a. St. 1708. stellte Hauksbee, während das Barometer auf 29,7½, und das Thermometer auf 60° stand, in einer Entfernung von 2588 Englischen Fufs von dem Fernrohre eine Stange auf, die, ihrer Länge nach, mit verschiedenen Zeichen versehen war. Aus dem Prisma wurde die Luft ausgepumpt, und dasselbe vor das Fernrohr so gestellt, dafs die Brechungen auf beiden Seiten gleich waren, und das horizontale Haar ein bestimmtes Zeichen der Stange bedeckte. Liefs er hierauf die Luft durch den allmählig geöffneten Hahn in das Prisma treten, so erhob sich das bemerkte Zeichen nach und nach über das Haar, welches, sobald die Luft im Prisma und aufserhalb desselben gleiche Dichtigkeit hatte, ein anderes Zeichen, 10¼ Zoll unter dem vorigen, bedeckte. Man verdoppelte hierauf die Dichtigkeit der im Prisma befindlichen Luft, und brachte dasselbe wieder so vor das Fernrohr, dafs ein bestimmtes Zeichen von dem Haare bedeckt wurde. Stellte man dann das Gleichgewicht der inneren und äufseren Luft wieder her, so sank jetzt das Zeichen um 10¼ Zoll. Pumpte man so viel Luft ins Prisma, dafs sich ihre Dichtigkeit zu der der äufseren Luft, wie 3 : 1 verhielt, und liefs dann allmählig die so verdichtete Luft durch den Hahn entweichen, so sank das Zeichen, bis die Luft im Prisma gleiche Dichtigkeit mit der äufseren hatte,

um beinahe 21 Zoll. Die Wände des Prisma dem Drucke von noch mehr Atmosphären auszusetzen, hielt man nicht für rathsam. Das Resultat dieses Versuches war also dies, daſs das Licht für gleich starke Aenderungen in der Dichtigkeit der im Prisma eingeschlossenen Luft gleich starke Ablenkungen erlitten hatte.

Das Brechungsverhältniſs aus dem leeren Raume in die atmosphärische Luft, bei der vorher angegebenen Temperatur und Dichtigkeit, oder aus dieser in eine doppelt so dichte Luft, läſst sich hiernach leicht bestimmen. Der auf das Prisma (Fig. 8.) ABC einfallende Stral sei DG, und EF das Einfallsloth des Punktes G. Ist nun die Luft innerhalb des Prisma doppelt so dicht, als die äuſsere, so nähert sich der Stral in der Richtung GK diesem Einfallslothe, entfernt sich aber bei dem Austritte aus dem Prisma in der Richtung KL von dem Einfallslothe des Punktes K. Der Punkt, in welchem der einfallende und ausfahrende Stral sich schneiden, sei M, und man hat, wenn das Brechungsverhältniſs aus der gewöhnlichen Luft in eine doppelt so dichte mit n bezeichnet wird,

$$\cos DGA = n \cdot \cos BGK,$$
$$\cos CKL = n \cdot \cos GKB,$$

folglich ist, da die Brechungen auf beiden Seiten des Prisma, nämlich die Winkel DGA und CKL gleich waren, auch Winkel $BGK = GKB$, und Winkel $MGK = GKM$, weil die Winkel BGM und MKB gleich sind. Es ist also, da $B = 64^0$, Winkel $BGK = 58^0$, und Winkel $FGK = 32^0$. Der Winkel KMN aber hat, wenn sich die Höhe des Zeichens für die Entfernung von 2588 Fuſs um $10\frac{1}{4}$ Zoll ändert, 68 Se-

kunden, der Winkel *MGK* folglich 34 Sekunden. Daher verhält sich der Sinus des Einfallswinkels *DGE* in der gewöhnlichen, zum Sinus des Brechungswinkels *FGK* in der doppelt so dichten Luft, wie *sin* 32° 34″ : *sin* 32° = 1 : 0,999736; ein Resultat, das nicht bedeutend von dem von Lowthorp gefundenen abweicht.

Mittelst eines eben solchen hohlen Prisma, dessen Seiten Glasplatten mit parallelen Oberflächen waren, und in welches verschiedene Flüssigkeiten gebracht wurden, setzte Hauksbee zugleich die von Harriot, Lowthorp und Anderen geäufserte Vermuthung, dafs die brechende Kraft der Körper nicht von ihrer Dichtigkeit allein abhänge, aufser Zweifel; fand aber, dafs im Allgemeinen die leicht brennbaren Körper eine stärkere brechende Kraft besitzen, als die schwerer brennbaren von derselben Dichte.

Auf Tycho's Beobachtungen gestützt, entwirft Kepler in diesem Kapitel auch eine Tabelle für die astronomische Stralenbrechung, in welcher die Horizontal-Refraktion der Sonne 34′, die des Mondes 33′, und die der Fixsterne 30′ angegeben wird. Die übrigen Refraktionen sind von Grad zu Grad bei der Sonne bis zum 45°, wo sie 5″ ist, bei dem Monde bis zum 44°, wo sie gleichfalls 5″, und bei den Fixsternen bis zum 20°, wo sie 0″ ist, in dieser Tabelle enthalten. Nichtsdestoweniger behauptet er, dafs die Entfernung eines Gestirnes keinen Einflufs auf die Gröfse der Stralenbrechung haben könne, indem dieselbe nur in den untersten Luftschichten erfolge. Kepler sucht selbst die Höhe der Atmosphäre aus der Refraktion herzuleiten. Wie sehr er aber bei der ganzen, durch dieses Kapitel fortgesetzten, Untersuchung im Irrthume ist, kann man auch hieraus ent-

nehmen, dafs er die Höhe der Atmosphäre nicht gröfser, als 0,48 Deutsche Meilen findet [1]).

Gegen das Ende dieses Kapitels spricht Kepler von der Vergröfserung der Gestirne im Horizonte, und tritt Alhazen's Erklärung bei. Auch erwähnt er, um ein Beispiel für die bedeutende Gröfse der Horizontal-Refraktion zu geben, jener bekannten Expedition mehrerer Holländischen Seeleute im Jahre 1596., um bei Sibirien eine Durchfahrt nach dem Ostmeere zu finden. Sie wurden nach Nowaja-Semlja verschlagen, und sahen dort, in einer Breite von 76°, die Sonne zum letzten Male am 3. November. Ihre Wiederkehr hatten sie frühestens auf den 11. Febr. 1597. berechnet; sie trat aber schon am 24. Januar, siebzehn Tage vor der berechneten Zeit, in den Horizont.

Das fünfte Kapitel, in welchem die richtige Theorie des Sehens entwickelt wird, ist das wichtigste, und, weil Kepler sich selbst hierin völlig verstand, mit viel gröfserer Klarheit, als die vorhergehenden, geschrieben.

Zuerst werden die verschiedenen Häute und Flüssigkeiten des Auges, besonders auf die Autorität der Anatomen Jessenius und Platter, mit ihren Namen angegeben. Die äufsere undurchsichtige und weifse Haut wird *sclerodes tunica*, der vordere, stärker gekrümmte und durchsichtige Theil derselben *cornea* genannt. Die vordere Seite der *sclerodes* und selbst

1) Im Widerspruche hiermit giebt er, der bei Alhazen erwähnten Methode folgend, freilich in einer viel späteren Schrift, in der *Epitome astronomiae Copernicanae. Lentiis ad Danubium*, 1618., lib I, pag. 75., die Höhe der Atmosphäre zwischen 10 und 11 Meilen an.

die *cornea* werden von einem durchsichtigen und sehr dünnen Häutchen, *tunica adnata* oder *adhaerens*, von aufsen umgeben. Die hintere, durch viele Adern und Blutgefäfse dunkelfarbige Seite der zweiten Haut heifst hier *choroides tunica*, die vordere, unter der *cornea* befindliche, nach aufsen hin *iris*, in deren Mitte die Pupille ist, nach innen *uvea*. Die dritte Haut ist die *retina*. Unter den drei Flüssigkeiten, *humor aqueus*, *crystallinus* und *vitreus*, wird die mittlere, die Krystall-Linse, von einem durchsichtigen Häutchen, *aranea* (*arachnoides*) *tunica*, umgeben, so wie die letzte, die gläserne Feuchtigkeit, von der *hyaloides tunica*. Die wässerige Flüssigkeit aber hat kein besonderes Häutchen, sondern sie wird vorn von der *cornea*, und hinten von der *aranea* und den *processus ciliares*, die von der *uvea* ausgehen, und einen gestreiften Ring um die Krystall-Linse bilden, eingeschlossen.

Nach dieser Einleitung erklärt nun Kepler, wie die Bilder im Auge entstehen, und auf welchen Bestandtheil desselben sie entworfen werden. Da er hierbei mit allen bisherigen Theorieen im Widerspruche ist, so sieht er sich genöthigt, die seinige ausführlich aus einander zu setzen, deren wesentlichste Resultate diese sind: „Die Stralenkegel, die von allen Punkten des Gegenstandes ausgehen, und deren gemeinschaftliche Grundfläche die Pupille ist, werden in der Krystall-Linse so gebrochen, dafs sie hinter derselben gleichfalls Kegel bilden, deren Spizzen auf der Netzhaut liegen. Da die Achsen der zu den Endpunkten des Gegenstandes gehörigen Kegel sich in der Mitte der Krystall-Linse nach den Gesetzen der Brechung durchschneiden, so wird das

Bild umgekehrt, und ist überhaupt dem Gegenstande nicht kongruent-, sondern nur symmetrisch-gleich. Auch lehrt die Erfahrung, dafs der einem gefärbten Punkte im Gegenstande entsprechende Punkt im Bilde dieselbe Farbe hat." Kepler ist von der Wahrheit seiner Theorie so fest überzeugt, dafs er kein Bedenken trägt, zu behaupten, man müsse auf der Netzhaut, wenn es anders möglich wäre, nach Wegnahme der übrigen Häute des Auges, ein Bild hier festzuhalten, die gröfsten Gegenstände in einem sehr kleinen und umgekehrten Bilde sehen; ein Gedanke, der bald hernach von Scheiner und Descartes ausgeführt wurde.

Dieselbe fehlerhafte Beschaffenheit des Auges, in der schon Maurolycus die Ursache der Weit- und Kurzsichtigkeit gefunden hatte, wird auch von Kepler als solche angegeben, der jedoch des ersteren Schrift nicht anführt, und sie überhaupt nicht gekannt zu haben scheint, wie sich dies schon aus dem Inhalte des zweiten Kapitels vermuthen liefs. Bei der mangelhaften Vorstellung, die Maurolycus über die Verbreitung des Lichtes durch die Linsen hatte, konnte er die Undeutlichkeit der Bilder in beiden Fällen nicht erklären; Kepler aber giebt hierüber eine sehr befriedigende Auskunft. „Bei einem kurzsichtigen Auge durchschneiden sich die zu jedem Punkte des Gegenstandes gehörigen Stralen schon innerhalb der gläsernen Feuchtigkeit, sie breiten sich hinter ihren Durchschnittspunkten wieder kegelförmig aus, und geben daher auf der Netzhaut einen Lichtkreis statt eines Lichtpunktes. Dasselbe geschieht bei einem weitsichtigen Auge, welches die Stralen nicht stark genug bricht, so dafs ihre Spitzen hinter

der Netzhaut liegen" [1]). **Kepler** ist übrigens der Meinung, dafs beide Fehler bei einem sonst gesunden Auge durch Lebensweise und Gewöhnung entstehen, nicht aber durch die Schuld der Natur. Dafs man Greise gewöhnlich weitsichtig finde, liege darin, dafs es leichter und der Natur angemessener ist, die Achsen der Augen parallel zu halten, als sie zum deutlichen Erkennen naher Gegenstände gegen einander zu kehren. Im Alter aber sei das Auge schwächer, so dafs es lieber die natürliche Richtung der Achsen beibehält, und gegen das stumpf wird, was nur mit Mühe gesehen werden kann. Ein vollkommen gesundes Auge könne in der Nähe und Ferne gleich gut sehen. In einem solchen Auge müfste entweder, damit die Bilder in beiden Fällen deutlich sein, die Netzhaut gegen die Krystall-Linse, oder diese gegen jene ihren Ort ändern. **Kepler** läfst es unentschieden, ob die Netzhaut auf ähnliche Weise, wie die Iris, die Eigenschaft habe, sich auszudehnen, und sich so der Krystall-Linse zu nähern, wenn man entfernte, sich aber zusammen zu ziehen, und sich von der Krystall-Linse zu entfernen, wenn man nahe Gegenstände deutlich sehen will; oder ob die Stralenfasern (*processus ciliares*), welche die Krystall-Linse mit der Traubenhaut (*uvea*) verbinden, sich wie Muskeln zusammenziehen und ausdehnen können, um die Krystall-Linse in die erforderliche Entfernung gegen die Netzhaut zu bringen [2]).

Tycho zuerst hatte die Bemerkung gemacht, dafs sich der Durchmesser des Mondes bei einer Sonnenfinsternifs kleiner zeige, als beim Vollmonde.

1) Pag. 200.
2) *Dioptrice*, prop. 64.

Kepler findet auch in diesem Phänomene einen Beweis für die Wahrheit seiner Theorie. Für einen so entfernten Körper, wie der Mond, fallen die Spitzen der Stralenkegel vor die Netzhaut, so dafs sich auf dieser, statt blofser Punkte, Lichtkreise abbilden. Da nun die Augen verschiedener Beobachter verschieden organisirt sind, so wird nicht allein der erleuchtete Mond gröfser erscheinen, sondern seine Gröfse wird auch von verschiedenen Beobachtern verschieden angegeben werden müssen. Der Mond erscheint also defshalb nicht kleiner, weil er uns die dunkele Seite zukehrt, sondern vielmehr defshalb gröfser, weil wir ihn erleuchtet sehen [1]).

Auch die Frage über die Einheit der Bilder in beiden Augen wurde durch Kepler erledigt, indem er ihre Lösung darin findet, dafs die völlig gleichen Bilder den Eindruck eines einzigen auf die Vorstellung machen müfsten [2]).

Weniger befriedigend beantwortet er die Frage, wefshalb wir, ungeachtet der umgekehrten Bilder auf der Netzhaut, die Gegenstände aufrecht sehen. „Das Bild mufs umgekehrt sein", sagt er, „weil das Leidende dem Wirkenden gegenüber liegen mufs; das Oben und Unten der Gegenstände lernen wir schon aus der Bewegung der Augen unterscheiden, da wir dieselben in die Höhe richten, wenn wir einen hohen Gegenstand, und sie nach unten senken, wenn wir einen niedrigen sehen wollen" [3]). In der That hat aber auch die Beantwortung dieser Frage ihre eigenthümlichen Schwierigkeiten, über die wir nur dadurch, dafs wir das wirklich Empfundene beim Sehen von

1) *Paralip.*, pag. 285.
2) *Dioptr.*, prop. 62.
3) *Paralip.*, pag. 206.

dem, was die Phantasie hinzuthut, genau trennen, einen einigermaafsen befriedigenden Aufschlufs geben können. Wir empfinden nichts, als die Farbe der Stralen, und die Richtung, in welcher sie die Netzhaut treffen. Sache der Phantasie ist es also, wenn sie einen Punkt im Bilde in der Richtung, in der seine Stralen auf die Netzhaut fallen, aus dem Auge hinaus versetzt. Dieses Spiel, welches die Phantasie ohne unser Bewufstsein mit unseren Empfindungen treibt, mag freilich, unter mehreren anderen Umständen, auch besonders durch den von Kepler angeführten veranlafst werden.

Um die Bestimmung, welche Kepler der Krystall-Linse angewiesen hatte, theoretisch zu erläutern, untersucht er die Brechung des Lichtes in einer gläsernen und Wasserkugel. Es gelingt ihm zwar nicht, ihren Brennpunkt zu finden, doch deutet auch er, wie schon Maurolycus, ihre Brennlinien an [1]). Passender vergleicht er in „der Dioptrik" die Krystall-Linse mit einem doppelt-konvexen Glase, das auf der hinteren Seite eine hyperbolische Gestalt hat, und die Netzhaut mit dem auffangenden Papiere [2]). Wie unerweislich diese Gestalt der Krystall-Linse, welche die Anatomen entdeckt haben wollten, auch sein mag,

1) *Paralip.*, pag. 194. In einem Briefe an Brengger, dem 156sten nach der Ausgabe von Hansch, nennt er diese Linien *metatrices.*

2) Prop. 60. *Crystallinus humor oculi est lens convexa, forma hyperbolae, et retiformis tunica, spiritus plena, post crystallinum, est papyri vice, et pinguntur in ea visibilia pictura reali. Esse crystallinum humorem lentem convexam pellucidissimam, constat experientia anatomicorum. Figuram etiam posteriore parte esse hyperbolicam, et retiformem in circulum seu orbem cavum explicari undique circa crystallinum in distantia certa a crystallino, et praeterea albam subrufam esse, ut papyrum, testantur iidem.*

so unterliefs Kepler's Scharfsinn nicht, den Wink, den die Natur hier gegeben haben sollte, zu einer zweckmäfsigeren Einrichtung der Gläser zu benutzen, da es ihm nicht entgangen war, dafs die sphärischen Linsen derselben Abweichung wegen der Kugelgestalt unterworfen sind, die Roger Baco bei sphärischen Spiegeln, und Maurolycus bei gläsernen Kugeln gefunden hatten. Um nun diesem Fehler der sphärischen Linsen abzuhelfen, will Kepler der Natur bei der Bildung der Krystall-Linse, deren Bilder scharf sind, nachahmen, und bringt defshalb die hyperbolische Gestalt für die Linsen in Vorschlag. Der Gedanke also, den Linsen eine andere Gestalt, als die sphärische, zu geben, ist nicht zuerst von Descartes, sondern schon von Kepler ausgegangen.

Die zweite Schrift Kepler's, seine „Dioptrik" [1]), die nur wenige Bogen enthält, und nichtsdestoweniger eine der inhaltreichsten ist, die bis auf Newton über diese Wissenschaft geschrieben wurden, beginnt mit dem Vorschlage zu einer Vorrichtung, die Gröfse der Brechung aus der Luft in einen dichteren festen Körper zu messen, die zwar nicht die gröfste Genauigkeit gewährt, aber die Wirkung der Stralenbrechung anschaulicher macht, als jede andere. Es sein (Fig. 9.) *AD* und *AC* zwei, rechtwinkelig an einander gefügte Brettchen, *AE* ein Würfel von dem dichteren Körper, z. B. von Glas, der zwar so hoch ist, als *AD*, aber kürzer, als *AC*, und nicht so breit, als beide Brettchen. Hält man diese Geräthschaft gegen die Sonne, so gehen Stralen, wie *SD*, aufserhalb des Würfels geradlinig fort, und begrenzen den Schatten

1) *Joannis Kepleri, Sae. Cae. Mtis. mathematici, Dioptrice. Augustae Vind.*, 1611. kl. 4to. 79 Seiten.

AG des Brettchens *AD*; innerhalb des Würfels aber nehmen sie die Richtung *DF* an, und begrenzen einen kürzeren Schatten *AF* desselben Brettchens *AD*. Nachdem man die Linien *AD*, *AG* und *AF* gemessen hat, findet man den Winkel *ADF* aus der Gleichung $tang\ ADF = \frac{AF}{AD}$, und den Winkel *ADG* aus der Gleichung $tang\ ADG = \frac{AG}{AD}$, folglich auch die Differenz beider, den Winkel *FDG*, welcher die Abweichung des gebrochenen Strales von der Richtung des einfallenden angiebt.

Kepler bemerkt hierauf, dafs bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dichteren in ein dünneres Mittel die Brechung sich in eine Reflexion verwandeln könne. Er geht von den beiden Voraussezzungen aus, dafs das Licht vor- und rückwärts denselben Weg nehme, und dafs der gröfste Winkel, unter welchem ein im Glase gebrochener Stral von dem Einfallslothe abweichen kann, wie schon in den „Supplementen" bemerkt ist, 42° betrage. Ein Stral (Fig. 10.) *DC*, der im Glase mit dem Lothe *BC* einen Winkel von 42° bildet, fällt also bei dem Eintritte in die Luft in die brechende Fläche *CF* selbst, weil umgekehrt der einfallende Stral *FC* nach *CD* im Glase gebrochen wird. Ist aber der Einfallswinkel gröfser, als 42°, wie bei dem Strale *AC*, so kann dieser nach der Brechung weder die Richtung *CF* annehmen, welche *DC* angehört, noch in die Luft nach *CG* übergehen, weil der einfallende Stral *GC* sich nach der Brechung dem Lothe *CB* noch mehr nähert, als *CD*; folglich mufs *AC*, und jeder andere Stral, der aus Glas in Luft übergeht, und einen Winkel von mehr, als 42° mit dem Einfallslothe bildet,

von der brechenden Fläche, wie von einem Spiegel, nach innen reflektirt werden [1]).

Aus diesem Satze folgert Kepler, dafs man den Schatten eines kleinen Gegenstandes mittelst eines gläsernen Würfels der Sonne näher bringen könne, als ihr der Gegenstand selbst ist. Die parallelen Sonnenstralen (Fig. 11.) *SA*, *SB* fallen auf einen kleinen Gegenstand *AB*, der auf der Oberfläche *NO* des Würfels *MNOP* liege. Der Stral *SA* werde nach *AC* gebrochen, in *A* das Loth *AI*, und in *C* das Loth *CI* errichtet. Der Winkel *CAI* ist jedenfalls kleiner, als 42°, der Winkel *ACI* also gröfser, als 48°. Der Stral *AC* wird daher nach *CE* reflektirt, und geht in *E*, in der Richtung *EG*, in die Luft über. Denselben Weg nimmt *SB*, so dafs der Schatten *HG*, wenn man die ihn auffangende Ebene weit genug von dem Würfel entfernt, näher an der Sonne, als der Gegenstand *AB* selbst liegen wird. — Man sieht, dafs eine ähnliche Betrachtung der, erst in der neuesten Zeit von Brewster erfundenen, *Camera lucida* zum Grunde liegt.

Von dem fünf und zwanzigsten Theoreme an entwickelt Kepler die Brechung des Lichtes in den

1) Bekanntlich fehlt hier Kepler in der Bestimmung des Winkels *DCB* um etwa $1\frac{2}{3}$°. Das Brechungsverhältnifs aus Luft in gewöhnliches Glas = 17 : 11 gesetzt, ist der Sinus des gröfsten Einfallswinkels in der Luft, des rechten nämlich, = 1, und daher der Sinus des gröfsten Brechungswinkels im Glase = $\frac{11}{17}$ = *sin* 40° 19′. Es werden also nur solche Stralen beim Uebergange aus Glas in Luft reflektirt, die um mehr, als 40° 19′ von dem Einfallslothe, oder um weniger, als 49° 41′ von der brechenden Glasfläche abweichen.

Unter den Winkeln in der Luft, im Glase werde ich in der Folge immer die Winkel verstehen, die von einem einfallenden oder gebrochenen Strale, und dem Einfallslothe in diesen Mitteln gebildet werden.

sphärischen Gläsern, und geht dabei nach einer so reiflich erwogenen Methode zu Werke, dafs er das Ziel, welches er sich zunächst setzte, den Brennpunkt einer gleichseitigen doppelt-konvexen Linse zu finden, nicht verfehlen konnte. Aus jedem leuchtenden Punkte läfst er nicht, wie seine Vorgänger, einen einzigen Stral, sondern unzählig viele auf das Glas fallen; auch unternimmt er nicht sogleich die Bestimmung des Brennpunktes der ganzen Linse, sondern er sucht zuerst die Vereinigungsweite solcher parallelen Stralen, die blofs in der vorderen konvexen Glasfläche gebrochen werden, ohne irgend eine andere Aenderung zu erleiden; läfst sie hierauf parallel auf eine konkave Glasfläche einfallen, bestimmt abermals ihren Vereinigungspunkt, indem er die halbe Apertur aller brechenden gekrümmten Glasflächen, aus dem schon bekannten Grunde, höchstens 15° annimmt, und nähert sich so Schritt für Schritt der Lösung einer Aufgabe, die man bis dahin für unlösbar gehalten hatte.

Die Vereinigungsweite der Stralen, die aus einem entfernten Punkte (einem solchen, gegen dessen Entfernung der Durchmesser der Glaslinse verschwindet) kommen, daher als parallel angesehen werden können, und blofs in der konvexen Oberfläche eines Glases gebrochen werden, findet er folgendermaafsen: Es sei (Fig. 12.) *BAB* ein solches konvexes Glas, in *C* der geometrische, in *A* der optische Mittelpunkt, *HAC* die Achse, *SB* ein der Achse parallel einfallender Stral, der nach dem Punkte *F* derselben gebrochen werde, *CBM* das Einfallsloth des Punktes *B*, der Winkel $SBM = ACB = w$, der Winkel $CBF = x$, und der Winkel $CFB = v$. Da w, die Summe von x und v, höchstens 15° hat, jeder der beiden Winkel

x und v also kleiner ist, als 15°, so verhält sich der Winkel w in der Luft zum Winkel x im Glase, wie $3:2$, und es ist $w = x + v = \frac{3x}{2}$, und $v = \frac{x}{2}$. In dem Dreiecke BCF verhält sich daher $CF : CB = x : \frac{x}{2} = 2 : 1$, also ist $CF = 2 . CB$, und die Vereinigungsweite $AF = 3 . CA$, gleich anderthalb Durchmessern der Konvexität.

Es falle ferner das Licht in parallelen Stralen auf die konkave Glasfläche (Fig. 13.) BAB, in C sei der geometrische, in A der optische Mittelpunkt, SB der einfallende Stral, der sich in B bei dem Uebergange aus Glas in Luft, in dem Brechungsverhältnisse $2:3$ der Achse nähert, und dieselbe in F schneidet, das Einfallsloth für den Punkt B sei CBM, der Winkel $FBM = w$, der Winkel $FCB = x$, der Winkel $CFB = v$, so ist wieder $w = x + v = \frac{3x}{2}$, und $v = \frac{x}{2}$. Es verhält sich also $CB : CF = sin \frac{x}{2} : sin \frac{3x}{2} = 1 : 3$, folglich ist die Vereinigungsweite $AF = 2 . CA$, gleich dem Durchmesser der Konvexität.

Erst nach der Vorausschickung dieser Sätze zeigt Kepler, dafs die Brennweite einer gleichseitigen doppelt-konvexen Linse ungefähr dem Halbmesser der Konvexität gleich sei, ohne irgend ein Gewicht auf diese Entdeckung zu legen, die doch das Fundament der ganzen Dioptrik geworden ist. Er führt ungefähr diesen Beweis: Die Linse sei (Fig. 14.) BB, der geometrische Mittelpunkt der vorderen (dem Lichte zugekehrten) Fläche in D, der hinteren in C, der optische Mittelpunkt der ersteren in L, der anderen in K; der parallel mit der Achse einfallende Stral GB werde bis M verlängert; die Einfallslothe

für den Punkt B sein CBE und DBF. Der Stral GB nähert sich nach der Brechung in der vorderen Fläche dem Einfallslothe DF in einer Richtung BH, welche durch die Proportion $GBF : DBH = 3 : 2$ bestimmt wird, folglich ist

$$DBH = \tfrac{2}{3} GBF = \tfrac{2}{3} DBM, \text{ und}$$
$$HBM = \tfrac{1}{3} DBM.$$

Da aber die Halbmesser CB und DB gleich sind, und GM parallel mit CD angenommen wurde, so ist $DBM = MBE$, daher auch

$$HBM = \tfrac{1}{3} MBE, \text{ und}$$
$$HBE = \tfrac{4}{3} MBE.$$

Beim Uebergange aus Glas in Luft erleidet der Stral BH eine abermalige Brechung, und entfernt sich von dem Einfallslothe CE nach einer Richtung, welche durch die Proportion angegeben wird: Der Winkel HBE : Winkel in der Luft $= 2 : 3$, woraus

$$\text{der Winkel in der Luft} = \tfrac{3}{2} HBE = \tfrac{3}{2} \cdot \tfrac{4}{3} MBE$$
$$= 2 \cdot MBE = DBE.$$

Der Stral GB, und alle anderen der Achse parallelen nehmen also nach der Brechung in der ganzen Linse eine auf den Punkt D gehende Richtung an, so dafs die Brennweite KD dem Halbmesser LD beinahe gleich ist [1]).

Eben so richtig entdeckt Kepler, unter mehreren anderen Eigenschaften der gleichseitigen doppeltkonvexen Linse, auch diese, dafs die Vereinigungsweite dem Durchmesser gleich sei, sobald sich der leuchtende Gegenstand in eben dieser Entfernung vor

1) Diesen und die beiden vorhergehenden Beweise habe ich nur in der Absicht aufgenommen, damit man die Keplersche Theorie hiernach beurtheilen möge.

der Linse befindet [1]), und leitet hieraus ein mechanisches Verfahren, den Durchmesser der Konvexität zu finden, her. Man solle nämlich die Linse in der Mitte zwischen dem Gegenstande, und dem von einem Papiere aufgefangenen Bilde halten, und die Lage beider so lange gleichmäfsig gegen die Linse ändern, bis das Bild am deutlichsten werde; seine Entfernung von derselben sei alsdann der Durchmesser der Konvexität. Ueber die Vereinigungsweite der aus einem Punkte der Achse kommenden, und divergirend auf die Linse fallenden Stralen weifs aber Kepler im Allgemeinen nur dies zu ermitteln, dafs sie um so gröfser sei, je näher der leuchtende Punkt ist.

Aus dem Satze, dafs sich Stralen, die parallel mit der Achse auf eine konkave Glasfläche fallen, in der Entfernung des Durchmessers dieser Fläche vereinigen, zieht Kepler noch die Folgerung, dafs die Brennweite einer plan-konvexen Linse dem Durchmesser der gekrümmten Fläche gleich sei, weil die Stralen, sobald sich die Sonne in der Achse des Glases befindet, in der ihr zugekehrten planen Seite keine Brechung erleiden, sondern parallel auf die hintere konkave Fläche fallen.

Die gleichseitige doppelt-konvexe, und die plankonvexe Linse sind es allein, deren Brennweiten Kepler bestimmt angeben konnte; bei der ungleichseitigen doppelt-konvexen Linse findet er nur die Grenzen, zwischen denen die Brennweite liegen müsse [2]).

1) Es ist nämlich, wenn p die Brennweite eines Sammelglases, a die Entfernung des Gegenstandes von demselben, α die Vereinigungsweite bedeutet, $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, folglich hier, wo p dem Halbmesser f gleich ist, $\frac{1}{f} = \frac{1}{2f} + \frac{1}{\alpha}$, und $\alpha = 2f$.

2) Prop. 38.

Was er aber über die Lage und Gröſse der Bilder sagt, übertrifft die Leistungen seiner Vorgänger schon deſshalb bei weitem, weil er die Glaslinse als die Grundfläche unzählig vieler Doppelkegel ansieht, von denen jedesmal der eine seine Spitze im Gegenstande, und der andere in dem entsprechenden Punkte des Bildes hat [1]).

Diese Schrift ist besonders auch deſshalb merkwürdig, weil sie nicht allein die erste Theorie des Holländischen Fernrohres [2]), sondern auch Vorschläge zur Einrichtung zweier anderen Teleskope mit zwei und drei doppelt-konvexen Gläsern enthält [3]), auf welche Kepler durch die planmäſsige Anlage seines Werkes, in welchem er die Linsen so oft kombinirt, als er die Resultate dieser Kombinationen zu ermitteln im Stande ist, geleitet wurde. Es unterliegt keinem Zweifel, daſs er diese beiden Teleskope nicht aus eigener Erfahrung gekannt habe, weil seine unmittelbaren Nachfolger dies bestätigen, weil er selbst von etwa angestellten Versuchen nirgends spricht, sondern jene so wichtigen Erfindungen in der Form zweier dioptrischen Aufgaben kurz abhandelt, weil er endlich die Erklärung eines Teleskopes erst später, gegen das Ende der Schrift, giebt, da wo er die Theorie des Holländischen entwickelt. Um so auffal-

1) Prop. 44. et sqq.

2) Was de Dominis im achten Kapitel des schon mehrmals erwähnten Traktates über die Brechung des Lichtes in einem plankonvexen Objektive und plan-konkaven Okulare sagt, ist viel ungenügender, indem er nur die beiden von den Endpunkten des Gegenstandes ausgehenden Stralen berücksichtigt, und auch später bekannt geworden, da die Vorrede zu jenem Traktate vom 1. Oktober 1611., und die zu Kepler's Dioptrik vom 1. Januar desselben Jahres datirt ist.

3) Prop. 86. und 89.

lender ist es, wie er, von der Erfahrung nicht unterstützt, die Wirkungen mehrerer hinter einander aufgestellten Sammelgläser, selbst in dem hernach von Scheiner benutzten Helioskope [1]), so richtig angeben konnte, da doch seine Theorie der Fernröhre höchst mangelhaft ist. So erklärt er die Entstehung der Bilder in dem Teleskope mit zwei Sammelgläsern, welches jetzt vorzugsweise das Keplersche genannt wird, in folgender Art: „Das Objektivglas sei in solcher Entfernung, dafs das von demselben bewirkte umgekehrte Bild entfernter Gegenstände, wegen der zu grofsen Divergenz der aus jedem Punkte desselben kommenden Stralen, undeutlich sein würde. Wird nun zwischen dieses Bild und das Auge ein zweites Sammelglas, und zwar nahe dahinter gestellt, so wird jene zu grofse Divergenz durch die grofse Konvergenz, in welcher die Stralen durch die Okular-Linse ins Auge kommen, aufgehoben, und das Bild daher deutlich. Die dem Beobachter nähere Linse macht es gröfser, als sie es von der entfernteren empfängt, ohne seine umgekehrte Lage zu ändern." In ähnlicher Weise ist die Theorie der beiden anderen Fernröhre, des mit drei Sammelgläsern, welches ein aufrechtes Bild giebt, und des Holländischen gehalten. Doch entdeckt er hier den für den damaligen Zustand der Optik nicht leichten Satz, dafs die von einem leuchtenden Punkte herkommenden, und durch ein Sammelglas gebrochenen Stralen, vor ihrer Vereinigung durch ein Zerstreuungsglas aufgefangen, sich entweder in einem Punkte, der entfernter vom Objektive liegt, schneiden, oder parallel, oder divergi-

1) Prop. 88.

rend werden können [1]); ein Satz, auf dem bekanntlich die richtige Theorie des Holländischen Fernrohres beruht, und auf den ich in der Folge zurückkommen werde.

Wie vielfach Kepler die Linsen zu kombiniren versuchte, mag man auch daraus beurtheilen, dafs er, ohne von der Erfahrung unterstützt zu sein, nicht bei einer einzigen Linse, als Objektiv oder Okular des Holländischen Fernrohres, stehen bleibt, sondern deren zwei in Vorschlag bringt. Nehme man zwei gleiche Sammelgläser, die möglichst nahe hinter einander stehen, zum Objektive, so werde das Fernrohr um die Hälfte kürzer, verkleinere aber die Bilder [2]); nehme man dagegen zwei, nahe bei einander stehende Zerstreuungsgläser zum Okulare, so werde das Fernrohr zwar etwas länger, zeige aber deutliche und vergröfserte Bilder [3]).

Ueberblicken wir die Menge wichtiger Entdeckungen, mit denen Kepler die Dioptrik bereicherte, so werden wir ihn nicht blofs den Erneuerer und Förderer dieser Wissenschaft, sondern mit Recht den eigentlichen Begründer derselben nennen müssen.

1) Prop. 104.
2) Prop. 125.
3) Prop. 127.

Franciscus Aguilonius.

Geb. 1567., gest. 1617.

Die Farben lassen sich in permanente, apparente und intentionale eintheilen.

Aguilonius, ein Jesuit aus Brüssel, hat uns eine Optik [1]) in einem starken Folianten, in welchem nichtsdestoweniger nur die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes abgehandelt wird, hinterlassen. Der grofse Umfang dieses Werkes wird erklärlich, wenn wir sehen, dafs der Verfasser, ohne Kenntnifs der wichtigen Entdeckungen, die Kepler bereits gemacht hatte, sich mit einer Weitschweifigkeit, die an die Zeiten Alhazen's und Vitello's erinnert, entweder nur in leere Spekulationen einläfst, oder eine Menge folgenloser Sätze aus der Mathematik in die Optik herüberzieht. Die Absicht desselben, die Katoptrik und Dioptrik in ähnlicher Weise zu behandeln, wurde durch seinen Tod, gewifs ohne Verlust für unsere Wissenschaft, vereitelt.

Man wird sich erinnern, dafs von den bisherigen Optikern besonders zweierlei Farben unterschieden wurden, die wahren oder körperlichen, die man auch permanente, materielle, fixe oder eigenthümliche (*proprii*) nannte, und die scheinbaren, die auch apparente, emphatische, phantastische, veränderliche, oder glänzende heifsen; je nachdem sie entweder mit der Substanz der Körper so innig verbunden sind, dafs man sie nicht anders, als durch die Zerstörung der Körper selbst vernichten kann, wie die weifse Farbe der Kreide, die

1) *Francisci Aguilonii, e societate Jesu, opticorum libri VI. Antverpiae*, 1615. Fol. 684 Seiten.

Farben an den Federn der Vögel u. s. w.; oder sich nur innerhalb des Durchsichtigen unter gewissen Bedingungen zeigen, ohne dafs man einen gefärbten Körper als ihre Quelle angeben könnte, wie die Farben des Prisma, des Regenbogens und anderer Lufterscheinungen. Aguilonius vermifst hier aber noch eine Benennung für jene farbigen Bilder, die zwar auch nicht an die Materie eines Körpers gebunden sind, deren Quelle aber etwas gefärbtes Körperliches ist, die also in der Mitte stehen zwischen den wahren und apparenten. Diese Farben nun, die von viel feinerer Beschaffenheit, als die körperlichen sind, und deren Dauer von der Gegenwart des Lichtes, von welchem sie ausfliefsen, abhängig ist, nennt er intentionale oder notionale [1]). Zu diesen rechnet er unter anderen die von einem gefärbten Gegenstande durch ein Sammelglas in ein verfinstertes Zimmer einfallenden, und von einer weifsen Wand aufgefangenen Bilder. Sie haben, von den Farben des Gegenstandes sich gleichsam ablösend, überall auf ihrem Wege das

1) *A coloribus corporeis alii velut exuviae decidunt, ac luminis ope feruntur. Sunt vero longe tenuioris essentiae, quam corporei, a quibus proveniunt, neque diutius in perspicuo corpore perseverant, quam lumen adsit, cuius praesidio labilis illorum natura fulciatur. Vocantur autem intentionales, quod sint velut imagines, rebus visu dignoscendis idoneae.* Pag. 45.

Auf den schon bei Roger Baco erörterten Begriff des Intentionellen stöfst man häufig in den optischen Schriften des siebzehnten Jahrhunderts. Bei Descartes (*Dioptr.* pag. 5.) werden die intentionellen Bilder *petites images voltigeantes par l'air* genannt. — Göthe (zur Farbenlehre, Bd. II, pag. 271.) übersieht, bei seiner Entwickelung des Begriffes der intentionellen Farben, die hier von Aguilonius gemachte Bedingung, dafs ihre Quelle etwas gefärbtes Körperliches sei. Nach Göthe's Erklärung würde allen apparenten Farben zugleich die Eigenschaft des Intentionellen zukommen.

Bestreben, sich zu offenbaren, können aber diese ihre Intention nicht eher ausführen, als bis sie auf einen undurchsichtigen Körper gefallen sind.

Das sechste Buch, „von den Projektionen", dürfte das meiste Interesse gewähren. Es werden hier die orthographischen, scenographischen und stereographischen Projektionen eines Kreises, einer Ellipse, einer Kugel und mehrerer anderen Körper bestimmt. Die Benennung der stereographischen Projektion will Aguilonius zuerst in die Perspektiv eingeführt haben.

Christoph Scheiner.

Geb. 1580., gest. 1650.

Wir kennen schon die Verdienste dieses, dem Jesuiter-Orden angehörigen Mannes, der Lehrer der Mathematik an der Universität zu Freiburg war, um die Verbesserung der Teleskope, von denen er in der *Rosa Ursina* handelt. In einer anderen Schrift, *Oculus sive Fundamentum opticum* [1]), theilt er mehrere, sich auf das Auge und das Sehen beziehende, Beobachtungen mit.

Hier zeigt er unter anderen [2]), dafs man keiner künstlichen Vorrichtung bedürfe, um sich von einer Durchkreuzung der Lichtstralen in einer kleinen Oeffnung zu überzeugen. Man dürfe nur durch ein kleines, mit einer Nadel in ein Stück Papier gemachtes, Loch eine Lichtflamme betrachten, und gegen den unteren Rand desselben die Schärfe eines Messers

1) Sie ist in mehreren Auflagen erschienen, die älteste im Jahre 1619.

2) Pag. 32.

schieben. Halte man dann das Messer zwischen dem Auge und dem Papiere, so sehe man zuerst die oberen Theile der Flamme verschwinden; bringe man es aber hinter das Papier, so würden zuerst die unteren Theile unsichtbar.

Auch ist Scheiner der erste Optiker, der darauf aufmerksam machte, dafs sich, wenn man in einem Umfange von der Gröfse der Pupille mehrere kleine Oeffnungen in ein Stück Papier sticht, eben so viele Bilder eines Gegenstandes, als Oeffnungen vorhanden sind, zeigen, ohne dies freilich erklären zu können, oder auch nur zu bemerken, dafs diese Erscheinung nicht bei einem jeden Auge unter übrigens gleichen Umständen eintrete [1]. Ein kurzsichtiges Auge, welches mehrere Bilder sieht, wird deren nur eins gewahr, wenn man eine Lorgnette; ein weitsichtiges, wenn man ein Sammelglas vor dasselbe bringt. Hieraus aber ergiebt sich sogleich der Grund jener Erscheinung. Sie kann nämlich nur dann eintreten, wenn sich die Stralen entweder vor, oder hinter der Netzhaut durchkreuzen. Ist z. B. der leuchtende Punkt (Fig. 15.) *A* von einem kurzsichtigen Auge *GCD* so weit entfernt, dafs die durch die Oeffnungen *M* und *N* gehenden Stralen sich vor der Netzhaut in *B* schneiden, und der durch die untere Oeffnung *N* eingefallene Stral die Netzhaut oberhalb in *C*, der durch die obere *M* eingefallene unterhalb in *D* trifft, so wird man zwei Bilder von *A* in zwei verschiedenen Richtungen, die durch *C* und *D*, und durch den Mittelpunkt der Krystall-Linse gehen, in *F* und *E* sehen, und es wird das untere Bild *F* verschwinden, sobald man die untere Oeffnung *N*, das obere *E*, wenn man

1) Pag. 37.

die obere *M* verdeckt. Bei einem weitsichtigen Auge aber, wo sich die Stralen erst hinter der Netzhaut durchkreuzen, mufs der umgekehrte Fall eintreten. Zugleich ersieht man hieraus, dafs auch ein kurzsichtiges Auge nur ein Bild bemerken werde, wenn der Gegenstand sehr nahe ist, so dafs alle Stralen auf der Netzhaut selbst vereinigt werden; und ein weitsichtiges Auge, wenn sich der Gegenstand in der erforderlichen Entfernung befindet [1]).

René Descartes.

Geb. 1596., gest. 1650.

Theoretische Begründung des Reflexions- und Brechungsgesetzes — Anderweitige Herleitung dieser Gesetze durch Maignan, Dechales, Leibnitz, Maupertuis, Huygens und Newton — Mifslungener Versuch Descartes's, die Geschwindigkeit des Lichtes zu messen — Scheiner und Descartes bestätigen die Behauptung Kepler's, dafs die Netzhaut der eigentliche Sitz des Sehens sei, durch einen unmittelbaren Versuch — Zweifel dagegen, besonders von Mariotte erhoben — Andere beachtenswerthe Bemerkungen Descartes's über das Auge — Er giebt den sphärisch-elliptischen und plan-hyperbolischen Gläsern den Vorzug vor den sphärischen — Angabe der Ursache, wefshalb sich beide Regenbogen unter den Winkeln zeigen, unter denen wir sie sehen.

René Descartes ist zu La Haye, in dem ehemaligen Departement Touraine, den 31. März 1596. geboren [2]). Seine Eltern, angesehn und vermögend,

1) Jakob de la Motte, ein Arzt in Danzig, gab zuerst diese richtige Erklärung in den „Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft in Danzig" vom Jahre 1754. Theil II, pag. 209., und nach ihm Peter van Musschenbroek in der *Introductio ad philosophiam naturalem. Lugd. Bat.*, 1762., tom. II, pag. 769.

2) Eine ausführliche Geschichte seines Lebens findet man in

wendeten grofse Sorgfalt auf seine Erziehung, da er schon in früher Jugend ungewöhnliche Geistesanlagen zeigte. Bei heranwachsendem Alter bezog er das Jesuiter-Collegium zu La Fleche, in der Hoffnung, die Kenntnisse, welche er sich hier erwerben würde, im praktischen Leben anwenden zu können. Die klassische Litteratur, die Mathematik und Philosophie studirte er mit besonderem Eifer. Das planlose, vielleicht auch zu frühzeitige Lesen philosophischer Werke, die einander widerstreitenden Systeme hatten ihn aber, trotz des heilenden Einflusses, den man von der Grammatik und Mathematik hätte erwarten sollen, am Ende seiner Schulstudien so sehr von dem gehofften Ziele entfernt, dafs er nichts, als Zweifel an seinem Wissen, nichts, als Ekel an den Wissenschaften ins Leben mitnahm. Die Mathematik allein schien ihm noch einige Bürgschaft für die Wahrheit dessen, was sie ihn erkennen gelehrt hatte, zu stellen; doch hielt er ihren Wirkungskreis für zu beschränkt, da sie sich in der Anwendung nur im Gebiete mechanischer Kräfte geltend machen könne. Nachdem er die Schule verlassen hatte, wollte er daher die Beschäftigung mit den Wissenschaften ganz aufgeben, und keine anderen Kenntnisse fernerhin suchen, als solche, die er in sich selbst, oder in dem grofsen Buche der Natur finden könne. Er beschlofs daher, den Rest seiner Jugend auf Reisen hinzubringen, Heere zu sehen, Leute von verschiedenen Ständen und Verhältnissen kennen zu lernen, vor allem aber über die Dinge, die sich ihm darbieten würden, solche Betrachtungen an-

seinem *Discours de la methode, pour chercher la verité dans les sciences*, in der Schrift *La vie de Mr. Des-Cartes par Baillet. Paris*, 1690., und in Tennemann's Geschichte der Philosophie, Bd. 10, pag. 200. sqq.

zustellen, dafs er davon Nutzen ziehen könne [1]). Nachdem er sich einige Zeit in Paris einem zerstreuenden Sinnenleben hingegeben hatte, vor dessen gewöhnlichen Folgen ihn sein besserer Geist und seine Freundschaft zu dem edelen Mersenne schützten, ging er, seinem Vorsatze getreu, in Holländische Dienste. Während seines Aufenthalts in Breda erschienen seine ersten schriftstellerischen Versuche über die Musik und die Philosophie. Im Jahre 1619. verliefs er Holland, um, nach einer Reise durch Deutschland, in Baierische Dienste zu treten. Als er hier an einem kleinen Orte ohne Gelegenheit zu einem, seiner Bildung zusagenden, Umgange einen Winter zubrachte, legte er sich Rechenschaft ab von dem Gewinne, den ihm die Gesellschaft der verschiedenartigsten Personen bisher gebracht hätte, und er fand, dafs es des Widerstreitenden und Ungewissen im praktischen Leben nicht weniger, als in den Wissenschaften gebe. Er beschlofs daher, sich diesen wieder zuwenden, durch eine neue Methode aber den Trug von der Wahrheit scheiden zu wollen. Die Schwierigkeit der Aufgabe, die er sich gestellt hatte, blieb ihm nicht verborgen; seine eigenen Kräfte schienen nicht auszureichen, er flehete die heilige Jungfrau in Loretto, unter dem Gelübde einer dorthin zu machenden Pilgerreise, um ihren Beistand, um Erleuchtung seiner Seele an. Im Jahre 1621. verliefs er den Kriegsdienst, reisete durch Deutschland und Holland, und ging 1623. abermals nach Paris. Doch überzeugte er sich bald, dafs dies nicht der Ort sei, an welchem er seinen Lebensplan ausführen könne, da er dort unvermeidlich in viele zerstreuende Verbindungen gekom-

1) *Discours de la methode*, pag. 11.

men war. Nach Vollbringung seines Gelübdes begab er sich daher im Jahre 1629. wieder nach Holland, wo er die ersehnte Unabhängigkeit mehr, als in jedem anderen Lande, zu finden hoffte. Acht Jahre darauf erschien seine Abhandlung „Ueber die Methode, die Wahrheit in den Wissenschaften zu finden, und die Dioptrik, die Meteore und die Geometrie, nach dieser Methode dargestellt" [1]). Unter seinen späteren Werken sind „Die Metaphysik" [2]), „Die Principien der Philosophie" [3]), und „Der Traktat über den Menschen" die bekanntesten. Schnell verbreiteten diese Schriften seinen Ruhm durch alle Völker, denen damals die Wissenschaften nicht fremd waren; die Achtung gegen ihn war so grofs, dafs die ausgezeichnetsten Personen der damaligen Zeit seine nähere Bekanntschaft suchten. Die Königinn Christine von Schweden zog ihn im Jahre 1649. sogar an ihren Hof, wo jedoch sein ohnedies schwächlicher Körper schon im folgenden Jahre dem rauhen Klima unterlag.

Die Werke Descartes's, die uns hier insbesondere beschäftigen müssen, sind seine Dioptrik und seine Abhandlung über die Meteore.

Die Dioptrik ist eben nicht durch viele glänzende Entdeckungen ausgezeichnet, wohl aber durch einen eigenthümlichen Ideengang. Descartes bleibt nicht bei den durch die Erfahrung gegebenen optischen Grundgesetzen stehen, er will sie aus allgemei-

1) *Discours de la methode, pour bien conduire sa raison, et chercher la verité dans les sciences. Plus la dioptrique, les meteores et la geometrie, qui sont des essais de cete methode. A Leyde*, 1637.

2) *Renati Des-Cartes meditationes de prima philosophia, in quibus Dei existentia et animae humanae immortalitas demonstrantur. Amstel.*, 1641.

3) *Renati Cartesii principia philosophiae. Amstel.*, 1644.

nen mechanischen Principien herleiten. Neu war dieser Gedanke freilich nicht, da schon Heron die Ursache des Reflexionsgesetzes in der Eigenschaft der Stralen, überall den kürzesten Weg zu nehmen, und Kepler die der Brechung in dem Widerstande des dichteren Mittels gesucht hatten; doch war er bisher von keinem Optiker so systematisch ausgebildet worden. Mag man auch bis auf den heutigen Tag vergebens bemüht gewesen sein, die innere Natur des Lichtes vollkommen zu erforschen, so ist doch dieses, des menschlichen Geistes so würdige, Bestreben die Veranlassung zu vielen folgereichen Entdeckungen geworden.

Die Dioptrik Descartes's ist auch ausgezeichnet durch die Art ihres Vortrages. Die schwersten Probleme werden durch Beispiele aus der alltäglichen Erfahrung erläutert, freilich oft auf Kosten der Gründlichkeit, oft aber auch so treffend, dafs man die Analogie nicht leugnen kann. Ueberall finden wir hier schon Andeutungen seiner bekannten, erst später ausgeführten, Hypothese über die Elemente der Materie, die er theils unendlich fein, von unbestimmbarer Gestalt und sehr beweglich (bei der Sonne und den Fixsternen), theils von runder Gestalt (bei dem Himmel), theils gröber und weniger beweglich (bei den Planeten und Kometen) annahm [1]), und die sich in Wir-

1) *Primum (materiae genus) est illius, quae tantam vim habet agitationis, ut, aliis corporibus occurrendo, in minutias indefinitae parvitatis dividatur, et figuras suas ad omnes angulorum ab iis relictorum angustias implendas accommodet. Alterum est ejus, quae divisa est in particulas sphaericas, valde quidem minutas, si cum iis corporibus, quae oculis cernere possimus, comparentur; sed tamen certae ac determinatae quantitatis, et divisibiles in alias multo minores. Tertium constat partibus vel magis crassis, vel figuras minus ad mo-*

beln um gewisse feste Achsen drehen sollen [1]); so dafs jeder Planet in der Schicht des grofsen Sonnenwirbels (des zwar sehr feinen, aber zugleich sehr dichten, um die Sonne kreisenden Stoffes), die mit ihm gleiche Dichtigkeit hat, auf ähnliche Weise schwimmt, wie ein in der Luft schwebender Körper vom Winde fortgetragen wird, und dafs die von Monden begleiteten Planeten eben so ihre eigenen Wirbel in dem grofsen Wirbel der Sonne haben, wie ein in einen Wasserstrudel geworfener Strohhalm zwar an der Bewegung des Strudels Theil nimmt, zugleich aber um seinen eigenen Mittelpunkt wirbelt: eine Hypothese übrigens, die, wie Leibnitz bemerkt [2]), nicht von Descartes ausgegangen ist, indem schon Giordano Bruno [3]) an eine den Wasserwirbeln zu vergleichende

tum aptas habentibus. Et ex his tribus omnia huius mundi aspectabilis corpora componi ostendemus, nempe solem et stellas fixas ex primo, coelos ex secundo, et terram cum planetis et cometis ex tertio. Principia philos. pars tertia, §. 52. in der Frankfurter Ausgabe der *Opera omnia*, 1692.

1) *Putemus, totam materiam coeli, in qua planetae versantur, in modum cuiusdam vorticis, in cuius centro est sol, assidue gyrare, ac ejus partes, soli viciniores, celerius moveri, quam remotiores, planetasque omnes inter easdem istius coelestis materiae partes semper versari. Ex quo solo, sine ullis machinamentis, omnia ipsorum phaenomena facillime intelligentur. Ut enim in iis fluminum locis, in quibus aqua in se ipsam contorta vorticem facit, si variae festucae illi aquae incumbant, videbimus ipsas simul cum ea deferri, et nonnullas etiam circa propria centra converti, et eo celerius integrum gyrum absolvere, quo centro vorticis erunt viciniores, et denique, quamvis semper motus circulares affectent, vix tamen unquam circulos omnino perfectos describere, sed nonnihil in longitudinem et latitudinem aberrare: ita eadem omnia de planetis absque ulla difficultate possimus imaginari, et per hoc unum cuncta eorum phaenomena explicantur. Principia philos. pars tertia*, §. 30.

2) *Acta eruditorum*, 1682. pag. 187.

3) Bekanntlich wurde er, weil er die Aristotelische Philo-

Bewegung der Sterne um ihre Central-Körper gedacht hatte. So viel als Einleitung zu dieser Schrift, zu deren näherer Beurtheilung ich jetzt übergehen will.

In der Erklärung, wie das Licht sich fortpflanze, welche den Anfang der Dioptrik macht, finden wir die Platonische Synaugie wieder. So wie sich ein Blinder mittelst eines Stabes nicht nur zurecht zu finden, sondern auch die einzelnen Gegenstände zu unterscheiden weiſs, und so wie sich seiner Hand die Bewegung oder der Widerstand der Körper, die er antrifft, durch das Mittel des Stabes mittheilt, so könne man sich auch das, was wir Licht nennen, als eine gewisse, von den leuchtenden Körpern ausgehende, und sich der Luft und anderen durchsichtigen Körpern mittheilende, sehr schnelle und lebhafte Bewegung (*un certain mouvement, ou une action fort promte et fort vive*) vorstellen. Der Blinde unterscheidet Bäume, Steine, Wasser und andere Körper bloſs durch die Art und Weise, wie sie sich mittelst des Stabes dem Gefühle kund geben; eben so dürfe man auch die Farben in den Körpern, die man gefärbt nennt, für nichts anderes, als die verschiedenen Arten halten, wie diese Körper das Licht empfangen, und es gegen die Augen zurücksenden. So wie aber von den Körpern, die der Blinde unterscheidet, nichts Körperliches ausgeht, das längs des Stabes bis zur Hand gelangt, sondern vielmehr bloſs die Art des Widerstandes oder der Bewegung dieser Körper die Ursache der Vorstellung ist, welche sie in ihm erregen, ohne daſs zwischen diesen Vorstellungen und

sophie angriff, und sich überhaupt revolutionärer Bestrebungen im Gebiete der Wissenschaften verdächtig machte, im Jahre 1600. in Rom verbrannt. Man vergleiche Kepler in einem Briefe an Brengger, dem 158sten in der Ausgabe von Hansch.

dem Widerstande oder der Bewegung der Körper irgend eine Aehnlichkeit Statt fände: eben so dürfe man nicht annehmen, dafs irgend etwas Materielles von den leuchtenden Körpern ins Auge gelange, noch dafs zwischen diesen Gegenständen, und den Vorstellungen, die von ihrem Lichte oder ihren Farben erregt werden, irgend eine Aehnlichkeit Statt finde. So werde man nicht allein von jenen intentionellen Bildern befreit, die sich von den Körpern trennen und zu uns gelangen sollen, sondern man könne nun auch leicht den Streit entscheiden, der über den Ort, woher die Empfindung des Sehens komme, geführt worden ist. Der Blinde gewahrt die Körper, die um ihn sind, nicht allein durch diese selbst, wenn sie sich gegen den Stab bewegen, sondern auch durch die Hand, wenn sie ihr Widerstand leisten; eben so werden auch die leuchtenden Gegenstände nicht allein durch etwas, das sich von ihnen gegen die Augen erstreckt, sondern auch durch etwas, das in den Augen ist, und sich bis zu den Körpern fortpflanzt, wahrgenommen. Die bekannte Erfahrung, dafs einige Menschen und Thiere in der Finsternifs der Nacht sehen können, verliere demnach das Befremdende, das sie zu haben scheint.

D e s c a r t e s selbst aber sieht die Angriffe voraus, denen er sich aussetzt, wenn er die Luft und die übrigen durchsichtigen Körper, durch deren Mittel wir sehen, mit dem Stabe des Blinden vergleicht; er führt daher die Bewegung des Lichtes noch auf einen anderen Fall, der ihr analog sein soll, zurück. Man stelle sich eine Kufe vor, ganz angefüllt mit Trauben, auf deren Boden sich eine oder zwei Oeffnungen *A* und *B* befinden, durch welche der Wein ausfliefsen kann. Da es nun keinen absolut leeren Raum in der

Natur gebe, nichtsdestoweniger aber alle uns umgebenden Körper porös sind, so müfsten ihre Zwischenräume mit einem äufserst feinen und flüssigen Stoffe erfüllt sein, der sich von den Sternen durch das ganze Weltall verbreitet. Vergleiche man diesen feinen Stoff mit dem Weine, und die gröberen und weniger flüssigen Theile der Luft und der anderen durchsichtigen Körper mit den Trauben selbst, so werde man zugeben, dafs, so wie die Theile des Weines, die sich an einer Stelle *C* der Oberfläche befinden, in gerader Richtung durch *A* in demselben Augenblicke, wo es geöffnet wird, und zugleich durch *B* auszuströmen suchen, ohne sich einander zu hindern, und durch die Trauben gehindert zu werden, sich eben so alle Theile jenes feinen Stoffes in geraden Linien gegen unsere Augen bewegen können, ohne sich einander zu hindern, oder durch die gröberen Theile der durchsichtigen Körper gehindert zu werden. Doch müsse man zwischen der Bewegung selbst, und dem Bestreben, sich zu bewegen, unterscheiden. Denn obgleich die Theile des Weines in *C* zugleich gegen *A* und gegen *B* in geraden Richtungen auszuströmen suchen, so können sie sich doch in der That nicht zu gleicher Zeit nach zwei Seiten hin bewegen, wozu noch komme, dafs ihre geradlinige Bewegung durch die härteren Substanzen der Trauben unterbrochen werde. So dürfe man auch urtheilen, dafs das Licht nicht sowohl eine gewisse Bewegung, sondern vielmehr ein gewisses Bestreben, sich zu bewegen, sei, und dafs die Stralen des Lichtes nichts anderes sind, als die Linien, in deren Richtung sich dies Bestreben äufsere [1]).

1) Schon Isaak Vossius machte in seiner, besonders gegen

Descartes vergleicht endlich drittens die Bewegung des Lichtes mit der eines mit dem Rackette geworfenen Balles.

Ist die Bewegung des Lichtes keine andere, als die eines festen Körpers, so bot freilich der Beweis für die Nothwendigkeit des Reflexionsgesetzes keine Schwierigkeit dar. **Descartes** zerlegt die schiefe Richtung (Fig. 16.) *AB*, in der ein Ball gegen eine vollkommen ebene und harte Fläche *CE* geworfen wird, in die auf derselben winkelrechte *AC*, und die ihr parallele *CB*. Die erstere läſst er durch die Zurückwerfungsfläche *CE* vernichtet werden, während die Geschwindigkeit der letzteren keine Aenderung erleidet. Macht man daher $BE = BC$, beschreibt mit *BA* einen Kreis, und zieht durch *E* die Sehne *FD*, parallel mit *AC*, so kann der Ball in derselben Zeit, in welcher er von *A* nach *B* ging, nicht zugleich auf der Linie *FD*, und in dem Umfange des Kreises anlangen, auſser in den Punkten *F* und *D*. In der Richtung *BD* fortzugehen, hindert ihn die Zurückwerfungsfläche, und so ist er genöthigt, die Richtung *BF* anzunehmen. Aus der Gleichheit der Winkel *CBA* und *EBF* folgt dann die Nothwendigkeit des katoptrischen Grundgesetzes.

So gewagt aber auch der Vergleich, den **Descartes** hier anstellt, sein mag, so leitet er ihn den-

Descartes gerichteten, Schrift *De lucis natura et proprietate. Amstelod.*, 1662. auf die vielen unbegründeten Voraussetzungen und Folgerungen, die letzterer sich in seiner Erklärung des Lichtes zu Schulden kommen läſst, aufmerksam, indem er unter anderen erinnerte, daſs die Flüssigkeit nicht in jeder Richtung, sondern nur in der vertikalen auszuströmen suche, und daſs die Theile derselben, welche das Ausgeströmte ersetzen, nicht bloſs in geraden Linien, sondern, gegenseitig an einander stoſsend, in den verschiedensten Richtungen zuflieſsen.

noch nicht blofs auf das wahre Brechungsgesetz, sondern auch auf die einfachste, vor ihm noch nicht bekannte Form desselben. Er nimmt an, dafs der Ball in (Fig. 17.) *B* nicht mehr eine harte Oberfläche, sondern einen Stoff *CO* treffe, der so fein ist, dafs jener ihn zerreifsen, und durch ihn hindurchdringen kann, indem er blofs einen Theil seiner Geschwindigkeit, etwa die Hälfte, verliert. Er zerlegt wieder die schiefe Richtung *AB* in eine auf dem brechenden Mittel winkelrechte *AC*, und eine demselben parallele *BC*, und nimmt auch hier an, dafs die Geschwindigkeit des Balles durch den Stoff *CO* nur in der Richtung von oben nach unten, nicht aber in der mit dem brechenden Mittel parallelen vermindert werde, da er in der letzteren dem Balle nicht entgegenwirkt. Dieser wird also jetzt, bei seiner um die Hälfte verminderten Geschwindigkeit, doppelt so viel Zeit gebrauchen, um in der Richtung nach unten hin einen eben so grofsen Weg zurückzulegen, als es der von *A* bis *B* ist, und während dieser doppelten Zeit, weil seine parallele Geschwindigkeit nicht geändert ist, von der Linken zur Rechten einen Weg $BO = 2 . BC$ beschreiben. Da nun der Ball zugleich in einem Punkte des Kreisumfanges, und der durch *O* winkelrechten Sehne *MN* anlangen soll, so kann dieser Punkt kein anderer, als *N* sein, und der Ball wird jenseits des Stoffes *CO* in der Richtung *BN* fortgehen.

Descartes nimmt ferner an, dafs der in (Fig. 17.) *B* mit einer gewissen Geschwindigkeit anlangende Ball von neuem durch das Rackett getroffen werde. Wird seine Geschwindigkeit dadurch etwa um ein Drittel vermehrt, so wird er von *B* aus denselben Weg in zwei Zeittheilen zurücklegen, den er von *A* bis *B* in drei machte, und sich, wie aus dem Vorigen erhellt,

dem durch B gezogenen Einfallslothe nähern, so nämlich, dafs er, wenn $BE = \frac{2}{3}BC$ gemacht wird, in der Richtung BD fortgeht. Eben dies würde aber auch geschehen, wenn er in B einen Körper träfe, durch dessen Oberfläche er um ein Drittel leichter, als durch die Luft ginge; oder allgemein, wenn die Leichtigkeit, mit welcher er in das Mittel CED eindringt, sich verhält zu der, mit welcher er aus dem Mittel CEA austritt, wie $BC : BE$, d. h. wie der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Winkels in dem Mittel, welches dem Balle einen leichteren Durchgang gestattet.

Alles, was hier über die Bewegung des Balles gesagt ist, wendet nun Descartes auch auf die Bewegung der Lichtstralen an, die sich nach der Brechung dem Einfallslothe nähern, oder von demselben entfernen sollen, je nachdem ihnen das brechende Mittel leichter oder schwerer den Durchgang gestattet. Da aber das Verhältnifs der Leichtigkeit des Durchganges durch zwei verschiedene Mittel so lange konstant bleibt, als die Mittel selbst dieselben sind, und dies Verhältnifs mit dem der Sinus des Einfalls- und Brechungswinkels einerlei ist, so glaubt Descartes hierdurch das wahre Brechungsgesetz auf dem Wege der Theorie gefunden zu haben. In dem Resultate derselben, dafs das Licht durch härtere und dichtere Mittel einen leichteren Durchgang finde, als durch dünnere, sieht er nichts Befremdendes, da dieser feine Stoff durch die Luftheilchen, die gleichsam weich und unzusammenhängend sind, auf dieselbe Weise mehr, als durch die dichteren Wasser- oder Glastheilchen, in seiner Bewegung gehindert werden müsse, wie ein Ball von seiner Geschwindigkeit mehr verliert, wenn er gegen einen weichen Körper ge-

worfen wird, als wenn er von einem festen zurückprallt.

Wir finden hier also zum ersten Male das Brechungsgesetz richtig angegeben. Gleichwohl ist man allgemein dahin übereingekommen, diese so wichtige Entdeckung nicht dem Descartes, sondern dem Holländer Wilebrord Snellius zuzuschreiben, gestützt auf die Nachrichten, die von Huygens und Isaak Vossius mitgetheilt werden.

Huygens versichert, ein optisches Werk des Snellius, das ungedruckt blieb, gesehen zu haben, worin das Brechungsgesetz zwar in einer anderen, nicht so einfachen Form, aber nichtsdestoweniger richtig dargestellt war. Ist (Fig. 18.) ACB die brechende Ebene, HE das Einfallsloth für den Punkt C, AD ein Loth für einen anderen Punkt A der brechenden Ebene, CG die Verlängerung des einfallenden Strales FC bis zu dem Lothe AD, und CD der gebrochene Stral, so fand nämlich Snellius nach einer mühsamen Experimental-Arbeit, dafs zwischen den Linien CG und CD für jede zwei brechenden Mittel ein konstantes Verhältnifs Statt finde, welches Gesetz allerdings mit dem Cartesianischen übereinstimmt, indem sich CD zu CG verhält, wie $\sin CGD$ zu $\sin CDG$, oder wie $\sin FCH$ zu $\sin DCE$, d. h. wie der Sinus des Einfallswinkels zu dem des Winkels in dem brechenden Mittel [1]).

1) *Haec autem refractionum mensura, non sinuum, sed angulorum ipsorum proportione, ab Alkaseno Arabe et Vitellione olim definita fuerat, et experimentis quibusdam utcunque confirmata. Sed cum in majoribus radiorum inclinationibus a vero discrepare proportio illa reperiretur, diligentius sibi recentiores investigandam existimarunt. In quibus Keplerus, plurimis frustra tentatis, ipsam quidem rei veritatem non est assecutus; conjecturis tamen suis variisque mo-*

Eben dies bestätigt Isaak Vossius, dem der Sohn des Snellius die Schrift seines Vaters gezeigt hatte [1]). Vossius zweifelt nicht, dafs Descartes,

litionibus non parum sequentium studia adjuvit. Post eum vero Wilebrordus Snellius, cum jam majus operae pretium appareret, quippe exorto telescopii invento, multo labore multisque experimentis eo pervenit, ut veras quidem refractionum mensuras teneret, nec tamen, quod invenerat, satis intelligeret. Nam posita, exempli gratia, aquae superficie (Fig. 18.) AB, *visibili vero sub aqua in* D, *quod oculo in* F *posito appareat quasi in recta* FC, *donec in* G *puncto occurreret rectae* AD, *ad superficiem aquae perpendiculari, hisque ita descriptis statuebat, imaginem rei visae apparere in* G, *rectaeque* CD *ad* CG *certam esse rationem, veluti in aqua sesquitertiam. Quae rectarum inter se ratio vera est, ac convenit prorsus cum ea, quam paulo ante explicuimus, refractionis lege; quia* CD *est ad* CG, *ex doctrina triangulorum, ut sinus anguli* DGC *vel* AGC *seu* HCF *ad sinum anguli* CDG *sive* DCE. *Verum ad hanc sinuum proportionem nequaquam attendit Snellius, et usque adeo ab apparente imagine rem omnem pendere existimavit, ut etiam in radio perpendiculari, qualis* HC, *effectum refractionis, seu, ut falso opinatur, decurtationem radii visorii agnosceret, deceptus eo, quod etiam recta desuper in vas aqua plenum inspicienti fundus omni parte attolli videtur. Cuius rei vera causa ex radiis ad utrumque oculum tendentibus petenda est. Haec autem omnia, quae de refractionis inquisitione volumine integro Snellius exposuerat, inedita mansere; quae et nos vidimus aliquando, et Cartesium quoque vidisse accepimus, ut hinc fortasse mensuram illam, quae in sinibus consistit, elicuerit, qua in explicanda iride et vitrorum figuris investigandis felicissime est usus. Christiani Zuilichemii opera reliqua. Amstel*., 1728. vol. II, dioptr. pag. 2.

Wilebrord Snellius, Sohn des Rudolph Snellius, Professors der Mathematik in Leyden, ist im Jahre 1591. geboren, und war Lehrer bei derselben Universität. Man verdankt ihm aufser der Schrift, von welcher hier die Rede ist, die erste genauere Messung der Erde. Er starb im Jahre 1626. im 35. Jahre seines Alters.

1) *Porro, priusquam ad alia refractionis pergam phaenomena, praeterire non possum insignem Wilebrordi Snellii observationem. Inter alia praeclara, quae reliquit, monu-*

bei seinem Aufenthalte in Holland, von der Entdekkung des Snellius, die unter Anderen von Hortensius öffentlich mitgetheilt war, gehört habe, und Huygens fügt hinzu, es sei ihm versichert worden, dafs Descartes des Snellius Schrift selbst gesehen habe. Man könnte daher den Verdacht schöpfen, und hat ihn oft ausgesprochen, als habe Descartes jene so gekünstelte Theorie blofs in der Absicht ersonnen, um das Plagiat, das er beging, desto mehr zu verhüllen, wenn es nicht unbillig schiene, einen Mann von so grofsem Verdienste um die Wissenschaften einer so kleinlichen Eitelkeit anklagen zu wollen. Nach einer freilich nicht zu entschuldigenden

menta, supersunt quoque tres libri optici, quorum usuram superiori hyeme concessit mihi filius ejus. Quia illi necdum prodierunt in lucem, dignissimi tamen, qui prodeant, adponam hic theorema, quo nullum in tota optica nobilius et utilius exstat. Sic vero se habet: Radius incidentiae verus ad adparentem in ejusdem generis medio rationem semper habet eandem. Isaacus Vossius de lucis natura et proprietate, pag. 36.

Priestley beruft sich auf das Zeugnifs des Isaak Vossius in derselben Schrift, dafs auch Hortensius schon vor Descartes das wahre Brechungsgesetz gelehrt habe. Die hierauf bezügliche Stelle findet man aber nicht dort, sondern in des *Isaaci Vossii responsio ad objecta Joannis de Bruin et Petri Petit de luce. Hagae Com*, 1663., pag. 32. Sie lautet dort also: *Mensura porro Cartesii non differt a communi opticorum mensura, sed demonstrationis ratio diversa est. Postquam quippe in Hollandiam venit, satis liquet, et ipsum quoque nonnihil intellexisse de Snellii methodo ad mensurandas refractiones, utpote quam multi satis norant, quamque Hortensius et publice et privatim exposuerat. Quod itaque (Cartesius) habet, refractionum momenta non exigenda esse ad angulos, sed ad lineas, istud Snellio acceptum ferre debuisset, cuius nomen more solito dissimulavit. Ipsam tamen Snellii demonstrationem non vidisse lubenter admiserim, utpote cum omissa faciliori demonstratione operosiorem sectatus sit etc.*

Sitte nennt Descartes nie die Quellen, aus denen er schöpfte. So verschweigt er auch hier, wenn ihm wirklich das Brechungsgesetz mitgetheilt war, den Namen des Entdeckers, ohne dafs man ihm defshalb die bestimmte Absicht, eine fremde Entdeckung sich zueignen zu wollen, unterlegen darf.

Isaak Vossius bemerkt zugleich, dafs Snellius in jener ungedruckt gebliebenen Schrift auch die Kurve bestimmt habe, nach welcher sich der Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäfses krümmt. Er fand, dafs diese Brechungslinie von einer geraden in drei Punkten geschnitten werden könne, dafs sie also eine Conchoide sei, zwar nicht die Nicomedische oder Antinicomedische, aber nichtsdestoweniger eine Kurve, die zum Geschlechte der Conchoiden gehört [1]).

Was aber die auch von Vossius vertheidigte Behauptung des Snellius betrifft, dafs das Licht selbst in der vertikalen Richtung eine Brechung erleide, weil man z. B. den Boden eines mit Wasser angefüllten Gefäfses überall erhoben sieht, so ist dieser Irrthum, wie so eben bemerkt wurde, schon von Huygens berichtigt worden. Denn ist das eine Auge in der über dem Punkte (Fig. 18.) D des Bodens lothrechten Linie in F', so können die Stralen nur in schiefer Richtung in das andere Auge F gelangen, so dafs dieses den Punkt D höher in G sehen mufs. Selbst dann, wenn man nur mit einem Auge F' den Punkt D betrachten wollte, würde man ihn höher liegend sehen, weil das Licht nicht blofs aus diesem einzigen Punkte D, sondern auch aus den unmittelbar daneben gelegenen nach F' gelangt.

1) Dies bestätigte de Mairan in einer der Königl. Akademie der Wissenschaften im Jahre 1740. übergebenen Abhandlung. Er fand in jener Kurve eine sogenannte elliptische Conchoide.

Doch um auf Descartes zurückzukommen, so hatten seine Erörterungen über die Natur des Lichtes denselben Erfolg, den neue Gedanken, in dem Kopfe tiefer Denker entstanden, auch wenn sie in sich selbst nicht völlige Haltbarkeit haben sollten, von jeher hatten; sie riefen andere, besser begründete Theorieen hervor, unter denen namentlich die von Huygens aufgestellte einen grofsen Einflufs auf die Erweiterung unserer Wissenschaft gehabt hat.

Gleich nachdem die Dioptrik erschienen war, entspann sich ein Streit zwischen Descartes und seiner Schule auf der einen, und zwischen Fermat, Hobbes und Anderen auf der anderen Seite, der bis nach Descartes's Tode fortgesetzt wurde. Man griff den oben entwickelten Beweis des Brechungsgesetzes auf allen Punkten an; man fand das Resultat der Cartesianischen Theorie nicht zu rechtfertigen, dafs das Licht um so weniger Widerstand finde, je dichter das Mittel ist, durch welches es sich fortpflanzt; man hielt den Vergleich mit einem bewegten festen Körper schon defshalb für völlig unstatthaft — gewifs der triftigste Einwand, den man machte — weil das Licht nach dem Austritte aus einem brechenden Mittel, dessen Oberflächen parallel sind, denselben Zustand, den es früher hatte, wieder annimmt, und in einer mit der vorigen parallelen Richtung fortgeht, während dies bei einem festen Körper, wenn seine Geschwindigkeit einmal geändert ist, keinesweges der Fall sei. Ja selbst die Reflexions-Theorie blieb nicht unangefochten, indem man theils die Annahme der Elasticität bei den Lichttheilchen vermifste, theils die Vernichtung der perpendikulären Geschwindigkeit durch die Reflexions-Ebene bestritt.

Der Streit ging von Fermat aus, der sich, noch

ehe die Dioptrik veröffentlicht war, ein Exemplar derselben zu verschaffen gewufst hatte, und schonungslos gegen Descartes auftrat. Dieser Umstand war es besonders, der in letzterem den Verdacht erregte, als sei es seinem Gegner weniger um Ermittelung der Wahrheit, als um Rechthaberei zu thun, und in Descartes ein Gefühl des Unwillens zurückliefs, das sich, selbst nach ihrer gegenseitigen Verständigung, nie ganz verloren zu haben scheint. Ungeachtet Fermat später von verschiedenen Seiten erfuhr, dafs die Erfahrung mit dem Cartesianischen Brechungsgesetze vollkommen übereinstimme, so fand er sich nichtsdestoweniger in allen Punkten jener Theorie so unbefriedigt, dafs er die Mühe nicht scheuete, auf einem weitläufigen Wege eine andere wissenschaftliche Entwickelung des Brechungsgesetzes zu geben, indem er dabei von einem Principe ausging, das ähnlich ist jenem, durch welches Heron die Nothwendigkeit des Reflexions-Gesetzes gezeigt hatte, dafs nämlich die Natur ihre Zwecke auf dem leichtesten Wege zu erreichen suche. Fermat aber nahm nicht, wie Heron, den Weg des Lichtes als ein Minimum an, sondern vielmehr die Zeit, in der es sich von einem Punkte im Raume zu einem anderen bewegt. Da ihn auch dies Princip auf das von Descartes angegebene Brechungsgesetz führte, er aber den Widerstand im dichteren Mittel gröfser fand, so zweifelte er zwar nicht mehr an der Richtigkeit jenes Gesetzes, doch schien ihm die Theorie dieses Philosophen um so mehr fehlerhaft, da er dieselbe Wahrheit auf einem naturgemäfseren Wege gefunden zu haben glaubte.

So fanden also Descartes und Fermat die Beständigkeit des Brechungsverhältnisses für jede Gröfse des Einfallswinkels bei einem gerade entgegengesetz-

ten Resultate für die Geschwindigkeit des Lichtes im dichteren Mittel; wie sich in der That diese Geshwindigkeit gröſser oder kleiner, als im dünneren Mittel, ergiebt, je nachdem man entweder mit Newton das Licht für einen materiellen Ausfluſs aus den leuchtenden Körpern, der durch die Anziehungskraft des dichteren Mittels afficirt werden kann, ansieht, oder es mit Huygens für eine bloſse Erzitterung des Aethers hält.

Ehe ich zur Entwickelung der von Huygens und Newton aufgestellten Theorieen übergehe, will ich einige andere Versuche, die Beständigkeit des Brechungsverhältnisses zu erklären, nicht unerwähnt lassen.

Am wenigsten dürfte die Erklärung des Emanuel Maignan [1]), dem Isaak Barrow [2]) und Milliet Dechales [3]) folgen, befriedigen, weil er den Lichtstral in zu materiellem Sinne nimmt. Er setzt nämlich voraus, daſs jeder Stral (Fig. 11.) *SB* aus zusammenhängenden Theilen von parallelepipedischer Gestalt, deren Durchschnitte *Bmnp*, *mqrn* u. s. w. sein, bestehe, so daſs die Lichtpunkte, die in einer auf der Länge des Strales winkelrechten Richtung liegen, immer parallel unter einander fortgehen; woraus freilich folgen würde, daſs die zusammengehörigen, und stets parallel bleibenden Lichtpunkte *B* und *p* eines schief einfallenden Strales *SB*, weil der erstere den Widerstand des dichteren Mittels *NO* früher erleidet, koncentrische Bogen, die sich wie die Geschwindigkeit

1) In der *Perspectiva horaria*. *Romae*, 1648., Fol., einem Werke, das besonders von der Gnomonik handelt.

2) *Lectiones opticae*. *Londini*, 1674., lect. II, §. 4.

3) *Mundus mathematicus*. *Lugduni*, 1690., tom. III, pag. 648. Dies Werk, das aus vier starken Folio-Bänden besteht, umfaſst alle Theile der reinen und angewandten Mathematik, und ist mit einer für die damalige Zeit seltenen Klarheit und Bündigkeit geschrieben.

des Lichtes in beiden Mitteln verhalten, beschreiben, sich also dem Einfallslothe nähern müssen, bis endlich auch *p* das brechende Mittel erreicht hat, und der Lichtstral wieder geradlinig fortgehen kann. **Dechales** geht so weit, diese Hypothese — aus der, wie man leicht sieht, zugleich folgt, dafs der Lichtstral, bei dem Austritte aus dem dichteren Mittel, sich in einer, gegen das Einfallsloth konvexen, Kurve in eben der Weise von diesem entfernen müsse, wie er sich, bei dem Eintritte in das dichtere Mittel, demselben näherte — durch die Bewegung eines Wagens versinnlichen zu wollen. So lange sich alle vier Räder mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, kann der Wagen nicht aus der geraden Richtung herauskommen; sobald aber eins derselben langsamer zu rollen anfängt, nöthigt es das zugehörige Rad, einen koncentrischen Bogen mit seiner Bahn zu beschreiben, und lenkt den Wagen nach der Seite ab, auf welcher es sich selbst befindet.

Leibnitz und **Maupertuis** hielten zwar das Princip des **Fermat**, dafs die Natur ihre Endzwecke auf dem unter allen leichtesten Wege zu erreichen suche [1]), fest; jeder von ihnen knüpfte aber andere Bedingungen an dasselbe. Der erstere glaubte, das Produkt des Widerstandes beider Mittel in die Wege des Lichtes, der andere das Produkt der Geschwindigkeit in beiden Mitteln in die Wege des Lichtes für ein Minimum halten zu müssen, wenn das genannte Princip erfüllt sein soll. Nach **Leibnitz** würde also, wenn (Fig. 17.) *A* der leuchtende, *D* der erleuchtete Punkt ist, und wenn *m* den Widerstand

1) *Lumen a puncto radiante ad punctum illustrandum pervenit via omnium facillima.* **Leibnitz** in den *Actis erud.* 1682., pag. 185.

des oberen dünneren Mittels, und n den des dichteren bedeutet, der Weg des Lichtes von A nach D der unter allen leichteste sein, wenn die Summe der Rechtecke $m \,.\, AB$ und $n \,.\, BD$ unter allen, auf dieselbe Weise auszudrückenden, Gröfsen die kleinste ist. Das erste Differential dieser Summe gleich Null gesetzt, erhält man:

$$m \,.\, \partial AB = -n \,.\, \partial BD.$$

Nimmt man in dem brechenden Mittel LO unendlich nahe an B den Punkt P an, verbindet ihn mit A und D, fällt aus P das Loth PR auf AB, und aus B das Loth BQ auf PD, so ist

$$\partial AB = BR = PB \,.\, \cos PBR = PB \,.\, \sin ABH,$$

und

$$-\partial BD = PQ = PB \,.\, \cos BPQ = PB \,.\, \sin GBD,$$

daher

$$n : m = \sin ABH : \sin GBD,$$

woraus nicht allein die Beständigkeit des Brechungsverhältnisses für jeden Einfallswinkel folgt, sondern auch, dafs das dichtere Mittel dem Lichte einen grösseren Widerstand entgegenstellt, weil, der Erfahrung gemäfs, der Winkel ABH gröfser ist, als der Winkel GBD.

Aus der Hypothese des Maupertuis ergiebt sich auf dieselbe Weise, dafs der Sinus des Einfalls- und der des Brechungswinkels im umgekehrten Verhältnisse der Geschwindigkeit des Lichtes in beiden Mitteln stehen, dafs also beide Sinus zwar ein konstantes Verhältnifs haben, die Geschwindigkeit im dichteren Mittel aber gröfser ist, als im dünneren [1]).

Ganz verschieden hiervon ist der Weg, den Huygens nimmt, um die Nothwendigkeit der geradlinigen

1) *Mémoires de l'acad. de Prusse*, 1746

Bewegung des Lichtes, so wie des katoptrischen und dioptrischen Grundgesetzes zu zeigen. Er geht nicht von hypothetischen Bedingungen aus, die an die Bewegung des Lichtes geknüpft sein sollen, nicht von einem Minimum der Zeit oder des Weges, sondern er findet jene Gesetze unmittelbar durch die Art und Weise, wie man sich die Bewegung des Lichtes vorstellen müsse, gegeben. Schon Aristoteles hatte, wie wir gesehen haben, die Emanations-Hypothese bezweifelt, und die Verbreitung des Lichtes lieber durch eine Bewegung des Mittels zwischen dem Auge und dem Gesehenen, als durch das Ausströmen eines Lichtstoffes erklären wollen. Auch Huygens hält die Emanations-Hypothese für sehr unwahrscheinlich. Denn erwäge man, wie schnell sich das Licht nach allen Seiten hin verbreitet, wie Stralen, die aus verschiedenen, ja entgegengesetzten Stellen des leuchtenden Körpers kommen, sich schneiden, ohne sich in ihrer Bahn zu hindern, wie einige Körper in allen Richtungen durchsichtig sind, so daſs, wenn man ihnen in allen diesen Richtungen Zwischenräume beilegen wollte, damit das materielle Licht hindurchströmen kann, nichts für ihre undurchdringliche Masse übrig bleiben würde, so könne man kaum zweifeln, daſs sich nicht etwa von den leuchtenden Körpern ein gewisser Stoff ablöse, der bis zu uns gelangt, sondern daſs sich das Licht auf eine andere Weise fortpflanzen müsse. So wie sich der Schall durch das Mittel der Luft um den Ort herum, wo er entstand, durch eine gewisse Bewegung verbreitet, die successiv von einem Theile der Luft zum anderen fortgeht, so daſs diese Bewegung überall mit derselben Geschwindigkeit erfolgt, und gleichsam gewisse sphärische Flächen, die stätig gröſser werden, und endlich zu unse-

ren Ohren gelangen, gebildet werden, ohne dafs der Schall selbst in etwas Körperlichem, das von dem Schallenden ausgeht, bestünde: eben so könnte sich vielleicht auch das Licht in sphärischen Wellen um den leuchtenden Körper herum verbreiten, ohne dafs etwas Körperliches von diesem ausströmt. Huygens prüft diese Hypothese mit vielem Scharfsinne [1]), und findet in der Uebereinstimmung der aus derselben gezogenen Folgerungen mit der Erfahrung einen Beweis für ihre Wahrheit.

Schon Grimaldi in seiner *Physico-mathesis*, Hooke in seiner „Mikrographie", und Pardies in einer Abhandlung, an deren Vollendung ihn der Tod hinderte, hatten vor Huygens eine ähnliche Vorstellungsweise über die Bewegung des Lichtes aufgefafst [2]), doch ohne die optischen Grundgesetze mit strenger Folgerichtigkeit daraus herleiten zu können.

Huygens, der also als der eigentliche Begründer der Vibrations-Hypothese anzusehen ist, scheint in dieser Ansicht über die Natur des Lichtes besonders durch die kurz vorher von Olaus Römer gemachte Entdeckung, dafs die Geschwindigkeit des Lichtes mefsbar sei, dafs es also, eben so wie der Schall, eine successive Bewegung habe, bestärkt worden zu sein. Die Bemühungen Galilei's, diese Geschwindigkeit durch Signale, die er in der Entfernung einer oder einiger Meilen geben liefs, zu messen, hatten ihren Zweck eben so verfehlen müssen, wie das Ver-

1) In dem *Tractatus de lumine*, den Huygens, wie er selbst in der Vorrede (*Hagae*, 1690.) sagt, schon im Jahre 1678. der Akademie der Wissenschaften in Paris in Französischer Sprache mitgetheilt hatte.

2) *Tract. de lumine*, pag. 15. in der Amsterdamer Ausgabe der *Opera reliqua*, 1728.

fahren Descartes's, der aus der Stellung des Mondes beim Anfange einer Mondfinsternifs dies so vielfach angeregte Problem lösen zu können hoffte. Braucht das Licht, so folgerte Descartes, vielleicht eine Stunde, um den Weg von der Erde bis zum Monde zurückzulegen, so könnte eine Verfinsterung auf demselben nicht eher beginnen, als bis eine Stunde, seitdem er in dieselbe Richtung mit der Erde und Sonne kam, verflossen ist. Da diese Folgerung aber den Beobachtungen widerspricht, und Descartes für die weite Entfernung des Mondes von der Erde nicht eine viel kürzere Zeit annehmen zu müssen glaubte, so wurde er durch diese Betrachtung in dem Wahne, dafs die Geschwindigkeit des Lichtes augenblicklich sei, nur noch mehr bestärkt.

Doch hatte Descartes auch hier zuerst den Weg gezeigt, auf dem allein es gelingen konnte, eine so aufserordentlich grofse Geschwindigkeit zu messen. Olaus Römer [1]) verfolgte denselben weiter, indem er nicht beim Monde stehen blieb, sondern zu den Jupiterstrabanten überging, und unter ihnen den dem

1) Olaus Römer, geboren zu Kopenhagen im Jahre 1644., hatte sich den astronomischen Studien mit so glücklichem Erfolge gewidmet, dafs Picard, bei seinem Aufenthalte in Kopenhagen, ihn zum Gehilfen wählte. Römer folgte der Einladung Picard's nach Paris, wurde dort Mitglied der Akademie, kehrte aber im Jahre 1681. in sein Vaterland zurück, um eine Professur der Mathematik in Kopenhagen zu übernehmen. Durch mehrere ausgezeichnete Aemter stieg er im Jahre 1706. bis zur Würde eines Staatsraths, ohne sich defshalb den Obliegenheiten der Professur bis zu seinem Tode, der 1710. erfolgte, zu entziehen. Von seinen Schriften ist wenig auf uns gekommen, weil sein Nachlafs durch einen Brand im Jahre 1728. vernichtet wurde. Horrebow hat in der *Basis astronomiae. Hafniae*, 1735. Römer's astronomische Instrumente beschrieben. *Weidleri historia astron. Vitembergae*, 1741, pag. 541.

Jupiter nächsten, der seine Bahn schon in 42 Stunden 27 Minuten 33 Sekunden vollendet, wählte. Indem er die berechnete Zeit des Eintrittes dieses Trabanten in den Schatten des Jupiter, und des Austrittes aus demselben mit der Uhr verglich, und diese Beobachtung bei verschiedenen Stellungen der Erde gegen die Sonne und den Jupiter zehn Jahre hindurch fortsetzte, fand er, dafs das Licht ungefähr 11 Minuten gebrauche, um den Halbmesser der Erdbahn zu durchlaufen [1]), welche Zeit man bekanntlich bei vollkommeneren Messungen auf 8 Minuten 7 Sekunden berichtigt hat. Der Pariser Akademie theilte **Römer** in einer den 22. November 1675. gehaltenen Vorlesung seine Entdeckung mit, deren Wahrheit indefs anfänglich, bei dem festgewurzelten Glauben an die momentane Bewegung des Lichtes, von namhaften Astronomen bestritten wurde [2]).

Huygens mufs bei seiner Hypothese über die Entstehung des Lichtes einen unendlich feinen, höchst beweglichen, und durch das ganze Weltall verbreiteten Stoff, den er Aether nennt, voraussetzen. Die Annahme aber, dafs der durch das Licht erregbare Stoff unendlich feiner, als die Luft sei, scheint ihm schon defshalb zuläfsig, weil sich das Licht selbst im luftverdünnten Raume mit ungeschwächter Wirksamkeit fortpflanzt, während die Entstehung eines wirksamen Schalles nur an einen lufterfüllten Raum gebunden ist. Wird nun dieser Aether irgendwo erregt, so theilt sich die Bewegung eines jeden Theilchens nicht blofs dem nächsten mit, das in der geraden, von dem erregenden Punkte ausgehenden, Linie liegt,

1) *Tract. de lumine*, pag. 7.
2) *Weidleri Hist. astron.*, pag. 540.

sondern auch allen übrigen, die es berühren, und sich seiner Bewegung entgegenstellen. So entsteht um jedes Aethertheilchen gleichsam eine Welle, deren Mittelpunkt eben dies Theilchen ist. Setzen sich aber alle diese partikulären Lichtwellen (*undae particulares*) in demselben Augenblicke zu einer einzigen zusammen, oder vereinigen sie ihre Wirksamkeit mit einer unmittelbar von dem leuchtenden Punkte ausgegangenen Lichtwelle, so mufs in einer solchen Hauptwelle (*unda principalis*) ein gröfseres Maafs von Bewegung, als anderwärts in dem erregten Aether sein. Huygens findet es hiernach weniger unbegreiflich, wie sich das Licht auf so grofse Entfernungen fortpflanzen könne, da die Anzahl der erregten Aethertheilchen um so gröfser wird, je weiter es sich ausbreitet; während man sich bei der Emanations-Hypothese über die Frage, woher den leuchtenden Körpern die unermefslich grofse Kraft kommen solle, den feinen Lichtstoff mit so grofser Geschwindigkeit auf Millionen Meilen fortzuschleudern, auf keine Weise Rechenschaft ablegen könne.

Man sieht, wie Huygens, der unter einem Lichtstrale die Richtung versteht, in der jedes Aethertheilchen seine Bewegung fortpflanzt, die geradlinige Bewegung des Lichtes erklären werde. Ist (Fig. 19.) A ein leuchtender Punkt, BG eine Oeffnung, durch die dunkelen, undurchsichtigen Körper BH und GI begrenzt, DF eine Hauptwelle, gebildet durch die partikulären Wellen $\alpha\beta\gamma$, $\delta\varepsilon\zeta$ u. s. w., deren von A entfernteste Punkte in demselben Augenblicke in DF eintreffen, und zieht man durch A und B, und A und G die geraden Linien $A\beta$ und $A\mu$, so findet die Erregung des Aethers zwar auch jenseits dieser Grenzen nach P und Q hin Statt, doch in desto schwäche-

rem Grade, je mehr hier die Aethertheilchen dem Quelle der Erregung entrückt sind, so dafs die Fortpflanzung des Lichtes, insofern es den wirksamsten Eindruck aufs Auge zu machen im Stande ist, auf die Grenzen $B\beta$ und $G\mu$ beschränkt wird.

Eben so ungezwungen erklärt **Huygens** die Gleichheit des Einfalls- und Reflexionswinkels. Ist (Fig. 20.) AB eine ebene und vollkommen polirte Fläche, und die gegen dieselbe schräge Linie AC ein Theil einer Lichtwelle, deren Mittelpunkt so weit entfernt ist, dafs diese Linie als eine gerade angesehen werden kann, so wird in demselben Augenblicke, in welchem der Theil C der Welle AC in der geraden Linie CB, die aus dem leuchtenden Punkte kommt, und defshalb winkelrecht auf AC steht, in B angelangt ist, der Theil A derselben Welle, der verhindert wird, seine Bewegung unterhalb AB fortzusetzen, sie der Luft, die über AB ist, mitgetheilt haben, und in β angelangt sein, indem er eine Partikular-Welle $\alpha\beta\gamma$ bildet, deren Mittelpunkt A, und deren Halbmesser $A\beta = CB$ ist. Dasselbe gilt von den übrigen Theilen H der Welle AC, die in den geraden Linien HK, die mit CB parallel sind, zur Ebene AB kommen, und die partikulären Wellen $\delta\varepsilon\zeta$ u. s. w. bilden, deren Mittelpunkte in K liegen, und deren Halbmesser die Linien KM sind, nämlich die Verlängerungen der geraden HK bis zur Linie BG, die parallel mit AC gezogen ist. So wie aber alle diese kleineren Lichtwellen, wenn sie ihre Bewegung unterhalb AB fortsetzen könnten, zu gleicher Zeit in der geraden Linie BG ankommen würden, so ist auch oberhalb AB die aus B gezogene Tangente $B\beta$ des ersten Bogens $\alpha\beta\gamma$ die gemeinschaftliche Tangente aller anderen Bogen $\delta\varepsilon\zeta$ u. s. w.; defshalb aber ist $B\beta$ als

die Fortsetzung der Welle *AC* in demselben Augenblicke, in welchem *C* nach *B* gekommen ist, anzusehen, und in ihr ist ein gröfseres Maafs von Bewegung, als anderwärts. Aus der Kongruenz der Dreiecke *ABC* und *ABβ* folgt alsdann die Gleichheit der Winkel *CBA* und *βAB*. So wie aber die auf *AC* winkelrechte Linie *CB* die Richtung der einfallenden Stralen angiebt, eben so stellt die auf *Bβ* winkelrechte *Aβ* die Richtung der reflektirten Stralen vor. Beide, die einfallenden und reflektirten Stralen, sind also auf gleiche Weise gegen die Ebene *AB* geneigt.

Dafs die durch die Punkte *ABβC* gelegte Ebene winkelrecht auf *AB* stehen müsse, folgert Huygens auf eine weniger überzeugende Weise daraus, dafs er der Welle *AC* eine gewisse Breite, etwa die Gestalt eines Kreises, beilegt, der nur dann durch gleichzeitig eintreffende Partikular-Wellen in den ihm gleichen Kreis *Bβ* übergehen könne, wenn beide von derselben auf *AB* winkelrechten Ebene halbirt werden.

Auf ähnliche Weise leitet Huygens auch die Beständigkeit des Brechungsverhältnisses aus seiner Vibrations-Hypothese her. Ist (Fig. 21.) *AB* die brechende Ebene, und *AC* ein Theil einer Lichtwelle, so ziehe man aus *B* die Linie *BC* winkelrecht auf *AC*, beschreibe mit *AC* und *CB* das Rechteck *ACBG*, und ziehe aus den Punkten *H* von *AC* die mit *CB* parallelen Linien *HM*, welche die brechende Ebene in den Punkten *K* treffen, bis *BG*. In derselben Zeit, in welcher *C* in der Linie *CB* bis zur brechenden Ebene gekommen ist, würden *A* und alle Punkte *H* in *BG* anlangen, wenn das dichtere Mittel unter *AB* der Bewegung der Welle *AC* einen eben so geschwinden Durchgang gestattete, wie der ätherische

Stoff. Ist dies aber nicht der Fall, sondern bewegt sich das Licht unterhalb AB nur noch mit etwa $\frac{2}{3}$ seiner vorigen Geschwindigkeit, so bildet die von A ausgehende Partikular-Welle in derselben Zeit, in welcher C nach B kommt, einen Bogen $\alpha\beta\gamma$, dessen Mittelpunkt A, und dessen Halbmesser $A\beta = \frac{2}{3}BC$ ist. Eben so beschreiben alsdann die von den Punkten K ausgehenden Wellen die Bogen $\delta\varepsilon\zeta$ u. s. w., deren Halbmesser $K\varepsilon$ u. s. w. $\frac{2}{3}$ der Linien KM betragen. Alle diese Bogen aber haben keine andere gemeinsame Tangente, als die Linie $B\beta$, nämlich die aus B gezogene Tangente des Bogens $\alpha\beta\gamma$. Diese Linie ist daher als die Fortsetzung der Lichtwelle AC in demselben Augenblicke, in welchem C nach B gekommen ist, anzusehen.

Wird in A das Einfallsloth EF errichtet, GA bis D verlängert, der Winkel $CAB = EAD$ mit x, und der Winkel $AB\beta = \beta AF$ mit y bezeichnet, so ist $BC = AB \cdot \sin x$, und $A\beta = AB \cdot \sin y$. Die Sinus eines beliebigen Winkels x in der Luft, und des zugehörigen Winkels y in dem dichteren Mittel verhalten sich also, wie $CB : A\beta$, d. h. wie die konstanten Geschwindigkeiten des Lichtes in den beiden Mitteln.

Eben dies konstante Verhältnifs der Sinus des Einfalls- und Brechungswinkels findet man, wenn das Mittel unter AB dünner sein, und dem Lichte eine gröfsere Geschwindigkeit gestatten sollte. Zugleich leuchtet ein, bei welcher Neigung des in ein dünneres Mittel einfallenden Strales keine Brechung Statt finden, dieselbe vielmehr in eine Reflexion übergehen werde. Dies mufs nämlich geschehen, sobald der Winkel CBA so klein angenommen wird, dafs CB gleich ist $\frac{2}{3}AB$, oder gröfser, weil alsdann $A\beta = AB$,

oder gröfser, als *AB* wäre, folglich nicht mehr die Seite eines rechtwinkeligen Dreieckes *ABβ* sein könnte.

Fermat hatte aus dem Principe, dafs die Zeit, in welcher das Licht von einem Punkte in dem einen Mittel zu einem Punkte in dem anderen gelangt, ein Minimum ist, nur durch eine mühsame und weitschweifige Deduktion das Cartesianische Brechungsgesetz ableiten können, indem er dabei den Widerstand des dichteren Mittels gröfser, als den des dünneren fand; Huygens dagegen, der den entgegengesetzten Weg wählt, gelangt zu dem obigen Principe auf eine viel kürzere Weise. Indem er nämlich die vorige Voraussetzung, dafs sich der gebrochene Stral (Fig. 22.) *BC* in dem dichteren Mittel unterhalb *KBF* langsamer, als der einfallende *AB* bewege, beibehält, findet er, dafs die Zeit, in welcher das Licht durch den Punkt *B* von *A* nach *C* gelangt, kürzer sei, als die, in welcher es durch jeden anderen Punkt *F* der brechenden Fläche, der entfernter von *A* ist, oder durch *K*, der näher an *A* liegt, von *A* nach *C* kommen würde. Denn man ziehe aus *F* die Linie *FD* parallel mit *BA*, fälle aus *A* und *B* die Lothe *AD* und *BH* auf dieselbe, verbinde *F* mit *C*, ziehe aus *F* die Linie *FG* winkelrecht auf *BC*, und durch *B* das Einfallsloth *PBQ*, so stehen die Sinus der Winkel *HBF* $=$ *PBA* und *BFG* $=$ *CBQ*, nämlich die Linien *HF* und *BG*, im Verhältnisse der Geschwindigkeiten des Lichtes in den beiden Mitteln über und unter *KBF*. Die Zeit also, die das Licht gebraucht, *HF* zurückzulegen, ist gleich der Zeit, in der es durch *BG* geht. Da aber die Zeiten durch *AB* und *DH* auch gleich sind, und die durch *FC* offenbar länger ist, als die durch *GC*, so folgt, dafs die Zeit durch *DF* und *FC*, um so mehr also die Zeit durch *AF* und

FC länger ist, als die durch *AB* und *BC*. Nimmt man aber zweitens den Punkt *K* in der brechenden Fläche so, dafs er näher, als der Punkt *B*, an *A* liegt, so ziehe man *KN* parallel mit *BC*, *CN* und *BM* winkelrecht auf *KN*, und *KL* winkelrecht gegen *BA*. Hier sind nun die Linien *BL* und *KM* die Sinus der Winkel *PBA* und *CBQ*, die Zeit durch *BL* also gleich der durch *KM*, und die Zeit durch *LBC* gleich der durch *KN*. Aber die Zeit durch *AK* ist länger, als die durch *AL*, und die Zeit durch *KC* länger, als die durch *KN*, also auch die Zeit durch *AK* und *KC* länger, als die durch *AB* und *BC*.

Während Huygens dem Lichte im dichteren Mittel eine langsamere Bewegung beilegen mufs, wenn er die Beständigkeit des Brechungsverhältnisses aus der Vibrations-Hypothese erklären will, läfst Newton, von dem Gedanken an die allgemeine Gravitation geleitet, die beiden durchsichtigen Mittel mit ihrer Anziehungskraft auf den Lichtstral einwirken, und dann freilich mufs da, wo bei demselben Volumen mehr Massentheilchen vorhanden sind, in dem dichteren Mittel also, die Geschwindigkeit des Lichtes gröfser sein. Er leitet aus dieser Hypothese die Beständigkeit des Brechungsverhältnisses durch einen synthetischen Beweis her [1]); die analytische Methode führt aber auch hier kürzer zum Ziele.

Eine beschleunigende Kraft mag unveränderlich oder veränderlich sein, so ist bekanntlich, wenn s den Bewegungsraum, t die Zeit, und v die Geschwindigkeit bedeutet:

1) *Philosophiae naturalis principia mathematica. Genevae*, 1739. lib. I, prop. 94-96.

$$(1)\ \partial s = v\partial t,\ \text{und}\ v = \frac{\partial s}{\partial t}.$$

Verbindet man hiermit das Newtonsche Princip, dafs sich zwei beschleunigende Kräfte P und p, wie die in gleichen Zeiten durch dieselben erzeugten Geschwindigkeiten verhalten, so folgt hieraus, wenn P die Anziehungskraft der Erde bedeutet, welche in der Nähe ihrer Oberfläche jeder beliebigen Masse in der Zeit ∂t die Geschwindigkeit $2g\partial t$ mittheilt, und ∂v die von der Kraft p in derselben Zeit ∂t bewirkte Geschwindigkeit ist:

$$(2)\ p = \frac{P.\partial v}{2g\partial t},$$

und, wenn man die Schwerkraft P der Erde, so wie die Geschwindigkeit $2g$ am Ende der ersten Sekunde, der Kürze wegen, $= 1$ setzt:

$$(3)\ p = \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial^2 s}{\partial t^2}.$$

Soll dieser Ausdruck auf die Anziehungskraft des dichteren brechenden Mittels angewandt werden, so ist zu erwägen, dafs diese Kraft sich nur in unmerklicher Entfernung äufsern könne, weil die Erfahrung lehrt, dafs ein Lichtstral nur in unmittelbarer Berührung mit dem brechenden Mittel seine Richtung ändert. Eine solche Entfernung von der brechenden Ebene (Fig. 23.) AB sei demnach $LN = y$, L also die äufserste Grenze des Wirkungskreises von AB, so dafs ein Lichttheilchen, in diesem Punkte selbst, noch die konstante Geschwindigkeit c hat, mit der es sich durch das gleichartige dünnere Mittel fortpflanzte, und die sich, wenn LM die Richtung des einfallenden Strales, und der Einfallswinkel $LMC = \xi$ ist, in die der Ebene AB parallele Geschwindigkeit $c.\sin\xi$, und in die auf derselben lothrechte $c.\cos\xi$ zerlegen

läfst. Man erwäge ferner, dafs die anziehende Kraft p, aufser der Entfernung y, auch noch von der konstanten Dichtigkeit des Mittels unter AB, vielleicht auch von anderen unveränderlichen Bedingungen abhängig sein werde. Fassen wir diese konstanten Bedingungen in den Ausdruck K zusammen, und verstehen unter $f(y)$ eine Funktion der Entfernung y, so ist aus (3):

$$(4)\quad \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -Kf(y)$$

der Ausdruck für die in lothrechter Richtung wirkende Kraft, der das Minuszeichen vorgesetzt werden mufste, weil sie um so gröfser wird, je mehr y abnimmt. Die in paralleler Richtung anziehende Kraft ist aber gleich Null zu setzen, da, wenn ein Massentheilchen M das Lichttheilchen L in der schiefen Richtung LM anziehen sollte, ein eben solches Massentheilchen M' in derselben Entfernung auf der anderen Seite von LN angenommen werden kann, welches die Einwirkung des ersteren aufhebt. Es ist daher, wenn $MN = x$ gesetzt wird:

$$(5)\quad \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 0.$$

Multiplicirt man die Gleichung (4), um sie integriren zu können, mit $2\partial y$, so folgt aus (4) und (5):

$$\frac{\partial y^2}{\partial t^2} = -2K\int f(y)\partial y + Const.$$

$$\frac{\partial x^2}{\partial t^2} = const.,$$

wo $\frac{\partial y}{\partial t}$, wie aus (1) hervorgeht, die auf dem brechenden Mittel lothrechte, und $\frac{\partial x}{\partial t}$ die demselben parallele Geschwindigkeit bedeutet. Um die Konstanten bestimmen zu können, nehme man die Gröfse dieser

beiden Geschwindigkeiten in L, und es ist, wenn man den unveränderlichen Werth, den $\int f(y)\partial y$ an dieser Stelle hat, mit k bezeichnet,

$$c^2 cos^2 \xi = -2Kk + Const.$$
$$c^2 sin^2 \xi = const.,$$

daher

$$\frac{\partial y^2}{\partial t^2} = c^2 cos^2 \xi + 2Kk - 2K\int f(y)\partial y,$$
$$\frac{\partial x^2}{\partial t^2} = c^2 sin^2 \xi.$$

Beim Eintritte in das dichtere Mittel AB selbst, wo $y = 0$ ist, hat man demnach:

$$\frac{\partial y^2}{\partial t^2} = c^2 cos^2 \xi + 2Kk,$$
$$\frac{\partial x^2}{\partial t^2} = c^2 sin^2 \xi.$$

Da also die parallele Geschwindigkeit in M dieselbe, wie in L ist, die lothrechte aber einen Zuwachs erhalten hat, so ist hiermit schon der Grund angegeben, weſshalb sich das Lichttheilchen in einer, gegen das Einfallsloth konkaven, Kurve demselben nähern muſs.

Im dichteren Mittel wird die lothrechte Geschwindigkeit so lange zunehmen, bis das Lichttheilchen nach L' in eine Schicht $A'B'$, die in der Entfernung $L'N' = y$ von AB liegt, gekommen ist; jenseits dieser Grenze aber bis zum Austritte aus dem dichteren Mittel — wo sie eben so vermindert wird, wie sie bei dem Eintritte in dasselbe zunahm, und dadurch bewirkt, daſs das Lichttheilchen in einer, gegen das Einfallsloth konvexen, Kurve sich von demselben entfernt — konstant bleiben, weil an jeder tiefer liegenden Stelle eine in entgegengesetzter Richtung in der Entfernung LN wirkende Kraft vorhanden ist. Um

nun auch diese Zunahme der Geschwindigkeit durch eine Formel auszudrücken, hat man nach (3):

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = + Kf(y),$$

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 0.$$

Es mufs nämlich dem ersten Ausdrucke das positive Zeichen gegeben werden, weil hier y zugleich mit der Anziehungskraft wächst. Integrirt man diese Gleichungen, so ist:

$$\frac{\partial y^2}{\partial t^2} = + 2K\int f(y)\partial y + Const.$$

$$\frac{\partial x^2}{\partial t^2} = const.$$

Zur Bestimmung der Konstanten nehme man die Geschwindigkeit bei dem Eintritte in das dichtere Mittel in M, wo $y = 0$ ist, und man hat:

$$c^2 cos^2 \xi + 2Kk = Const. \text{ und}$$

$$c^2 sin^2 \xi = const.,$$

daher

$$\frac{\partial y^2}{\partial t^2} = c^2 cos^2 \xi + 2Kk + 2K\int f(y)\partial y,$$

$$\frac{\partial x^2}{\partial t^2} = c^2 sin^2 \xi.$$

Da aber, wenn y den Werth $L'N'$ erreicht, das Lichttheilchen also bis zur Schicht $A'B'$ gekommen ist, die Geschwindigkeit konstant bleibt, so erhält $\int f(y)\partial y$ in L' einen unveränderlichen Werth, der vorhin mit k bezeichnet wurde. Es ist daher von L' an das Quadrat der lothrechten Geschwindigkeit:

$$\frac{\partial y^2}{\partial t^2} = c^2 cos^2 \xi + 4Kk,$$

und das Quadrat der parallelen:

$$\frac{\partial x^2}{\partial t^2} = c^2 sin^2 \xi.$$

Bezeichnet man den Brechungswinkel *FMG* mit ξ', und die Geschwindigkeit des Lichtes von dem Punkte *L'* an mit v, so ist auch:

$$\frac{\partial y^2}{\partial t^2} = v^2 \cos^2 \xi',$$

$$\frac{\partial x^2}{\partial t^2} = v^2 \sin^2 \xi',$$

daher endlich

$$v^2 = c^2 + 4Kk,$$

die Geschwindigkeit v im dichteren Mittel also grösser, als die Geschwindigkeit c in dem dünneren, weil $4Kk$ immer positiv sein mufs. Zugleich folgt hieraus:

$$c.\sin \xi = v.\sin \xi' = \sin \xi' \; (c^2 + 4Kk)^{\frac{1}{2}}$$

oder

$$\frac{\sin \xi}{\sin \xi'} = \left(1 + \frac{4Kk}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}},$$

also die Beständigkeit des Brechungsverhältnisses.

Dafs man eben so das Reflexionsgesetz herleiten könne, wenn man den reflektirenden Körpern, deren Aggregatzustand ein ganz anderer ist, als bei den durchsichtigen, eine abstofsende Kraft beilegt, leuchtet von selbst ein.

So kann man also aus den Eigenschaften des Lichtes, reflektirt und gebrochen werden zu können, nicht entscheiden, ob die Vibrations- oder Emanations-Hypothese eine gröfsere Wahrscheinlichkeit für sich habe; erst andere Eigenthümlichkeiten des Lichtes, die in einer späteren Periode entdeckt wurden, werden diese Entscheidung zuverläfsiger machen.

Nach dieser langen Abschweifung, die nöthig wurde, um die Unzulänglichkeit der von Descartes gegebenen Erklärung des Brechungsgesetzes zu zeigen, kehre ich zu den übrigen Kapiteln seiner Dioptrik zurück.

Im dritten und den beiden folgenden Kapiteln handelt er vom Auge, und der Art, wie wir durch dasselbe sehen. Schon Kepler hatte behauptet, dafs sich auf der Netzhaut, wenn man den Hintergrund des Auges bis auf dieselbe entblöfse, ein kleines und umgekehrtes Bild der vorliegenden Gegenstände zeigen müsse. Diese Behauptung, versichert Descartes, werde man bestätigt finden, wenn man das auf die angegebene Weise entblöfste Auge eines eben gestorbenen Menschen oder eines grofsen Thieres in eine genau anpassende Oeffnung eines Fensterladens in einem verfinsterten Zimmer setzt, und die entblöfste Stelle mit einem feinen, durchsichtigen Papiere bedeckt. Man sehe aber nur die Bilder solcher Gegenstände, deren Entfernung der Gestalt des Auges angemessen ist, deutlich; drücke man dasselbe, und mache es ein wenig länger, so bemerke man auch die Bilder sehr naher Gegenstände scharf begrenzt. Doch hat Descartes diesen, für die Theorie des Sehens so höchst wichtigen, Versuch wahrscheinlich nicht zuerst angestellt, sondern ihn, wie aus einer Stelle bei Schott [1]) hervorgeht, von Scheiner entlehnt.

1) *Magia universalis nat. et artis. Herbipoli*, 1657. pag. 87. *Radios visuales decussari intra oculum, et objectorum imaginem pingi in retina, utrumque expertus fuit saepius Christophorus Scheinerus in oculis diversorum animalium, et anno* 1625. *Romae in oculo humano. Idem audivit prius a sagacissimo quodam optico, ac deinde per semetipsum expertus est Athanasius Kircherus, qui in „Arte sua lucis et umbrae" experimentum proponit, quod quidem facile quilibet per se facere potest. Si enim accipias oculum tauri, aut alterius animalis grandioris, aut etiam hominis, et a parte posteriore, quae corneae opponitur, resecto nervo optico cum suis involucris, tunicaque adnata cum aliis partibus crassioribus, eo usque denudes ibidem oculum, donec humores per retinam per-*

Durch diese Experimental-Untersuchung schien zwar die Keplersche Theorie aufs vollkommenste bestätigt zu sein, nichtsdestoweniger erhob man in der Folge wenigstens dagegen, daſs die Netzhaut der eigentliche Sitz des Sehens sei, Zweifel, die zunächst durch eine Entdeckung Mariotte's veranlaſst wurden [1]). Indem er nämlich untersuchen wollte, ob die Netzhaut überall gleich empfindlich gegen das Licht sei, befestigte er zwei weiſse Körperchen, etwa zwei Stücke weiſsen Papieres, in einer Entfernung von ungefähr zwei Fuſs, in der Höhe seiner Augen an einer dunkelen Wand. Nachdem er hierauf das linke Auge geschlossen hatte, stellte er sich mit dem rechten gerade vor das links gelegene Papier, und ging dann einige Schritte zurück, bis die von dem rechts gelegenen Papiere ausgehenden Stralenkegel den, seitwärts nach der Nasenwurzel hin befindlichen, Sehnerven trafen. Da aber nun das Bild dieses Papieres gänzlich verschwand, so schloſs er hieraus, daſs die Netzhaut in der Gegend des Sehnerven keine Empfindlichkeit für das Licht habe.

lucere incipiant, oculumque bene lotum foramini, in fenestra cubiculi obscurati facto, imponas ita, ut pars anterior extra cubiculum, posterior vero intra vergat, et extra cubiculum lumen admoveas oculo: videbis radios luminis, per corneam et pupillam ingressos, aqueumque et crystallinum humorem penetrantes, in vitreo post crystallinum decussari, et ulterius ad retinam usque extendi. Si vero eidem oculo extra cubiculum admoveas alia quaecunque objecta illuminata, videbis eorum imagines in oculi fundo depingi ita exacte cum omnibus suis coloribus, motibus et signis propriis (inverso tamen situ), ut penicillo depictae videantur. Ejusdem experimenti meminit etiam Nicolaus Zucchius in „Philosophia optica", pars I, cap. 2., a quo etiam oretenus ita percepi.

1) *Oeuvres de Mariotte. Leide*, 1717., pag. 496. in einem Briefe an Pecquet.

Dieser Versuch wird noch überzeugender, wenn man drei Streifen Papier nimmt. Richtet man dann, während das linke Auge geschlossen ist, das rechte unverwandt auf das links gelegene Papier, so sieht man, wenn man von dem mittleren Papiere aus einige Schritte zurückgetreten ist, zuerst dieses verschwinden, und wenn man noch weiter zurückgeht, das mittlere wieder sichtbar, aber nun das rechts liegende unsichtbar werden.

Diese verschiedene Empfindlichkeit der Netzhaut gegen das Licht, dazu ihre Durchsichtigkeit, schienen Mariotte nicht Eigenschaften zu sein, welche sie zur Aufnahme der Lichtkegel, und zur Vollendung der Bilder geeignet machen. Er glaubte vielmehr, die Adernhaut, welche hinter der Netzhaut liegt, als den eigentlichen Sitz der Empfindung des Lichtes ansehen zu müssen, theils, weil sie eine grofse Empfindlichkeit gegen das Licht habe, wie man dies an der Iris, einer Fortsetzung der Adernhaut, sehe, theils auch, weil sie durch ihre dunkele Farbe besonders empfänglich für das Licht sein müsse. Le Cat, der die Adernhaut für eine Fortsetzung der dünnen Hirnhaut (*pia mater*) hielt [1]), trat dieser Ansicht Mariotte's bei, während Porterfield, Zinn, v. Haller und andere namhafte Physiologen Gründe genug zu haben glaubten, um Kepler's Behauptung aufrecht zu erhalten. Die Netzhaut müsse man schon defshalb für den eigentlichen Sitz des Sehens halten, weil sie, nicht aber die Adernhaut, ein Gewebe von Nerven sei, die in dem ganzen thierischen Organismus der Sitz der Empfindung sind; wozu komme, dafs die

1) *Traité des sensations et des passions en général, et des sens en particulier. Paris,* 1767., pag. 396.

Adernhaut nicht eine Fortsetzung der *pia mater* [1]), und dafs sie bei Menschen und Thieren, besonders aber bei Fischen, inwendig mit einem schwarzen Schleime bedeckt sei, der nicht füglich von den Stralen durchdrungen werden könne [2]). Dafs die Netzhaut an der Stelle, wo sich der Sehnerv befindet, unempfindlich gegen das Licht ist, dies komme wahrscheinlich daher, weil dieser hier nicht so weich und zart sei, wie zu beiden Seiten, wo er sich über die Adernhaut ausbreitet; doch mache dies das Sehen defshalb nicht weniger deutlich, weil die seitwärts einfallenden Stralen, die für das eine Auge verloren gehen, jedesmal durch das andere zu einem Bilde vereinigt werden.

Ungeachtet aller dieser Gründe, die für die Netzhaut sprechen, denen man noch den krankhaften Zustand, in welchem man bei dem schwarzen Staare (*amaurosis*) gerade die Netzhaut und den Sehnerven findet, hinzufügen könnte, ist dennoch bis auf den heutigen Tag der Streit über den eigentlichen Sitz des Sehens, der übrigens nicht in die Optik, sondern in die Physiologie gehört, keinesweges als entschieden anzusehen [3]); dafs sich indefs die meisten Anatomen für die Netzhaut erklären, ist bekannt.

Was die Fähigkeit des Auges, in verschiedenen Entfernungen deutlich zu sehen, betrifft, so tritt Descartes der Ansicht Kepler's bei, dafs die Krystall-Linse durch die Muskelkraft der sie umgebenden Stralenfasern (*processus ciliares*) bald mehr, bald weniger gekrümmt werde, je nachdem man nahe oder

1) *Descriptio anatomica oculi humani, auctore Joanne Gottefried Zinn. Gottingae,* 1755., pag. 39.

2) *Halleri Physiologia,* vol. V, pag. 474.

3) Man vergleiche Brewster in seinem „Handbuche der Optik", übersetzt von J. Hartmann, Bd. II, pag. 76.

entfernte Gegenstände sehen wolle [1]). Auch hält er es für wahrscheinlich, daſs die Muskeln, die sich auswärts an der hinteren Seite des Auges befinden, und es bewegen, die Gestalt desselben ändern helfen, indem sie es mehr oder weniger zusammendrücken.

Die so oft angeregte Frage über die Umkehrung der Bilder im Auge, worüber Kepler nichts Befriedigendes sagen konnte, glaubt Descartes gründlicher zu erledigen, wenn er wieder den Sinn des Gesichtes mit dem Gefühle eines Blinden vergleicht. „So wie, wenn ein Blinder einen Stab in seiner rechten Hand A gegen einen Punkt C, und einen anderen Stab in der linken Hand B gegen denselben Punkt C richtet, die Nerven einer jeden Hand einen gewissen Eindruck auf das Gehirn machen, welcher die Seele nicht allein den Ort A oder B, sondern auch alle anderen erkennen läſst, die in den geraden Linien AC und BC, selbst über C hinaus, in D und E liegen, so wie also dieser Blinde den Gegenstand E, der zur Rechten liegt, durch die Vermittelung der linken Hand, und den links gelegenen Gegenstand D durch die Vermittelung der rechten Hand wahrnehmen kann, und so wie er nicht urtheilt, daſs ein Körper doppelt sei, ungeachtet er ihn mit beiden Händen berührt: so dürfen wir es auch nicht befremdend finden, daſs wir, ungeachtet des umgekehrten Bildes auf der Netzhaut, die Gegenstände aufrecht, und ungeachtet zweier Bilder, die wir von jedem Körper in beiden Augen haben, denselben nur einfach sehen."

Befriedigender ist die Erklärung, die Descartes über das doppelte Bild eines einzigen Gegenstandes

1) Auch im *Tractatus de homine*, pag. 64. in der Frankfurter Ausgabe der *Opera omnia*.

giebt, das man zuweilen mit beiden Augen sieht. Wird das eine Auge durch seine natürliche Stellung auf einen rechts gelegenen Gegenstand *A*, durch irgend einen Druck aber auf einen links gelegenen *B* gerichtet, so mufs es eine mittlere Richtung zwischen diesen beiden auf einen Punkt *C* nehmen, und so wird *B* in der Richtung von *C* gesehen werden. Da man nun den Gegenstand *B* zugleich an seiner wahren Stelle durch das andere Auge wahrnimmt, so erscheint er doppelt, auf ähnliche Weise, wie man statt einer, mit zwei über Kreuz gelegten Fingern gehaltenen, Kugel zwei zu fühlen glaubt [1]).

Dafs die Empfindung dessen, was wir Licht nennen, in nichts Anderem, als in der Empfindung einer gewissen Bewegung, in welche jedes Fäserchen des Sehnerven versetzt wird, bestehe, schliefst Descartes auch aus dem Lichtschimmer, der sich vor einem, durch einen Schlag verletzten, Auge, selbst wenn es geschlossen, oder an einem durchaus finsteren Orte ist, zeigt. Ein heftiger Druck gegen das Auge mufs nämlich den Fasern des Sehnerven eine eben so lebhafte Bewegung, wie das Licht, mittheilen, und daher mit diesem eine gleiche Wirkung hervorbringen.

Von besonderem Interesse ist das achte Kapitel, welches von der vortheilhaftesten Gestalt der Gläser handelt, nicht für die Praxis, welche Descartes's Vorschläge schon längst verworfen hat, wohl aber für die Theorie. Er giebt den elliptischen, und noch mehr den hyperbolischen Gläsern, den Vorzug vor den sphärischen, die der Abweichung wegen der Kugelgestalt unterworfen sind, ohne die Nachtheile, die auch jene Gläser begleiten, zu verkennen, und

1) *Tract. de homine*, pag. 69.

stützt seine Theorie auf eine Eigenschaft jener Kurven, die ich zunächst für die Ellipse anführen will.

An einen beliebigen Punkt (Fig. 24.) K einer Ellipse ziehe man die Linie NK parallel mit der Hauptachse AB, aus den Brennpunkten C und D die Stralen CK und DK, halbire den Winkel CKD durch die Linie PE, errichte in K eine Winkelrechte OQ, die Tangente des Punktes K der Ellipse, gegen PE, mache die Verlängerung KM des Strales DK gleich dem anderen Strale KC, ziehe die Linie MC, die in ihrer Mitte O von der Tangente geschnitten wird, mache $NK = KD$, fälle aus N das Loth NP, aus D das Loth DE auf PE, ziehe KH winkelrecht auf die Hauptachse, und aus F, dem Punkte, in welchem PE diese Achse schneidet, ein Loth FG auf den Stral KD. Man erhält hierdurch vier Paare ähnlicher Dreiecke, HKF und NKP, KFG und KED, FGD und HKD, KDF und MDC, aus denen sich ergiebt, dafs das Verhältnifs der Linien NP und DE, welche die Sinus der Winkel NKP und EKD sind, gleich ist dem Verhältnisse der Hauptachse AB zur Eccentricität CD. Aus den beiden ersteren Paaren der Dreiecke hat man nämlich die Proportionen:

$$HK : NP = KF : NK = KF : KD = FG : DE,$$

oder

$$HK : FG = NP : DE.$$

Aus den beiden anderen Paaren erhält man:

$$HK : FG = KD : FD = MD : CD = AB : CD,$$

daher

$$NP : DE = AB : CD.$$

Da also die Linien NP und DE, die Sinus der Winkel NKP und EKD, für jeden Punkt K im Verhältnisse von AB zu CD stehen, so folgt aus diesem

Satze, dafs, wenn die Figur einen ellipsenförmigen gläsernen Körper vorstellt, für welchen das Verhältnifs der Hauptachse zur Eccentricität gleich dem Brechungsverhältnisse aus Luft in Glas genommen ist, jeder mit der Hauptachse parallele Lichtstral *NK* nach dem hinteren Brennpunkte *D* gebrochen werde. Ein elliptisches Sammelglas, das alle mit der Hauptachse parallelen Stralen in einem Punkte vereinigt, wird man demnach erhalten, wenn man den elliptischen Bogen (Fig. 25.) *BAB*, für welchen das Verhältnifs der Hauptachse zur Eccentricität dem Brechungsverhältnisse aus Luft in Glas gleich ist, mit einem Kreisbogen *BB* durchschneidet, dessen Mittelpunkt der hintere Brennpunkt *D* ist, und dessen Halbmesser *DB* zwar beliebig, jedoch so genommen wird, dafs dieser Bogen zwischen den Punkten *D* und *A* liegt. Die parallelen, durch die elliptische Oberfläche *BAB* nach *D* hin gebrochenen, Stralen werden alsdann bei dem Austritte aus der sphärischen Fläche *BB* keine neue Brechung erleiden, indem sie alle unter rechten Neigungswinkeln auf diese Fläche fallen. Ein elliptisches Zerstreuungsglas aber müfste so geschliffen werden, dafs es auf der hohlen Seite (Fig. 26.) *EAF* elliptisch, auf der erhabenen *BB* sphärisch ist, und dafs dieser sphärische Bogen wieder aus dem hinteren Brennpunkte *D* mit dem beliebigen Halbmesser *DB* beschrieben wird. Da nämlich das Licht vor- und rückwärts denselben Weg nimmt, so werden die, auf die hohle Seite parallel einfallenden, Stralen nach ihrer Brechung so zerstreut werden, als kämen sie alle aus dem Punkte *D*, indem sie durch die sphärische Fläche keine Aenderung in ihrer Richtung erleiden. Läfst man das Licht durch zwei Sammelgläser dieser Art, oder durch ein Sam-

mel- und ein Zerstreuungsglas, oder durch zwei Zerstreuungsgläser hindurchgehen, so kann man bewirken, dafs Stralen, die von einem Punkte ausgehen, oder auf einen Punkt gerichtet, oder parallel sind, auf jede gewünschte Art diese Richtungen ändern.

Auch die Hyperbel hat dieselbe merkwürdige Eigenschaft, die so eben bei der Ellipse nachgewiesen ist. Ein hyperbolisches Sammelglas, dessen eine Seite (Fig. 27.) *BB* plan, die andere *BAB* hyperbolisch ist, vereinigt daher alle, parallel mit der Hauptachse auf die plane Seite einfallenden, Stralen in dem Brennpunkte *D* des anderen Hyperbelzweiges, wenn man auch hier das Verhältnifs zwischen der Eccentricität *CD* und der Achse *AE* dem Brechungsverhältnisse aus Luft in Glas gleich setzt. Giebt man aber dem Glase die Gestalt (Fig. 28.) *BEAFB*, worin die plane Seite *BB* in angemessener Entfernung von dem Hyperbelbogen *EAF*, winkelrecht gegen die Achse *DA*, gezogen ist, so werden alle, auf die plane Seite des Glases parallel mit der Achse einfallenden, Stralen durch die Brechung in der hyperbolischen Oberfläche *EAF* so zerstreut werden, als kämen sie aus dem Brennpunkte *D* des anderen Hyperbelzweiges.

Descartes räumt aus diesem Grunde den sphärisch-elliptischen und plan-hyperbolischen Gläsern, und besonders den letzteren, weil sie sich leichter, als jene, schleifen lassen, einen entschiedenen Vorzug vor den sphärischen ein, wegen der bei diesen unvermeidlichen Abweichung der Stralen. Doch entgehen ihm auch nicht die Mängel, denen selbst die elliptischen und hyperbolischen Gläser unterworfen sein würden. Denn je weniger ein Glas gekrümmt, oder je weniger es ungleich gekrümmt ist, desto weniger

verursache es ungleiche Brechungen der von mehreren Seiten parallel einfallenden, oder aus mehreren Punkten kommenden Stralen, so daſs freilich in dieser Beziehung die Plangläser und die sphärischen den Vorzug vor jenen verdienen würden [1]). Nichtsdestoweniger erwartet Descartes von dem Holländischen Fernrohre, von dem allein er in dem neunten Kapitel handelt, wenn man es mit plan-hyperbolischen Gläsern versehen könnte, nichts Geringeres, als daſs man alsdann selbst kleine Gegenstände auf den Sternen deutlich durch dasselbe sehen würde. Mit lebhaftem Interesse sann er daher darüber nach, wie man, durch die zweckmäſsigste Einrichtung der Maschinen, von denen er mehrere im zehnten Kapitel beschreibt, den Künstlern beim Schleifen solcher Gläser zu Hilfe kommen könnte. Als er im Jahre 1628. in Paris war, fand er dort einen gewissen Ferrier, dem es wirklich gelang, ein konvexes hyperbolisches Glas zu Stande zu bringen; da aber alle Bemühungen dieses Künstlers, auch ein konkaves hyperbolisches Glas zu schleifen, vergeblich waren, so verlor er die Lust, sich weiter einem so undankbaren Geschäfte hinzugeben [2]). Huygens von Zuilichem, der Vater des berühmteren Sohnes, mit dem Descartes in freundschaftlicher Verbindung stand, vermochte selbst Holländische Glasschleifer, die Ideen seines Freundes

1) *Entre plusieurs, qui changent tous en mesme façon la disposition des rayons, qui se rapportent a un seul point, ou vienent paralleles d'un seul costé, ceux, dont les superficies sont le moins courbées, ou bien le moins inegalement, en sorte qu'elles causent les moins inegales refractions, changent tousjours un peu plus exactement, que les autres, la disposition des rayons, qui se rapportent aux autres points, ou qui vienent des autres costés.* Pag. 111.

2) *Montucla Hist. des mathém.*, tom. II, pag. 262.

ausführen zu wollen; ihre Bemühungen hatten aber keinen besseren Erfolg, als die mehrerer nachfolgenden Künstler. Da indeſs die sphärischen Gläser nicht allein für alle Stralen, die einen merklichen Winkel mit der Achse machen, einen entschiedenen Vorzug vor den elliptischen und hyperbolischen verdienen, wie Descartes richtig bemerkt, sondern auch die Abweichung wegen der Kugelgestalt, von welcher die sphärischen Gläser stets begleitet sind, gegen die viel gröſsere Abweichung wegen der Farbenzerstreuung so unbedeutend ist, daſs sie, im Vergleiche mit dieser, kaum berücksichtigt werden darf, so hat man schon längst die Ausführung des von Descartes gemachten Vorschlages aufgegeben.

Die Abhandlung „Ueber die Meteore", zu welcher ich jetzt übergehe, verdient schon deſshalb eine ausgezeichnete Stelle in der Geschichte der Optik, weil hierin die Theorie des Regenbogens ihrer Vollendung nahe gebracht wird [1]). Indem Descartes die Entstehung dieses Phänomens auf eine so ungezwungene und leicht überzeugende Weise erklärt, daſs gleich anfangs Niemand an ihrer Richtigkeit zweifelte, so vielen Widerspruch auch sonst seine Behauptungen im Gebiete der Optik gefunden hatten, erzählt er zugleich die Umstände, die ihn auf jene Entdeckung leiteten, auf eine zu lehrreiche Weise, als daſs ich seine eigenen Worte nicht anführen sollte. „Da ich den Regenbogen", sagt er, „nicht bloſs am Himmel hatte erscheinen sehen, sondern auch in meiner Nähe, wenn ich mit dem Rücken gegen die Sonne gekehrt, den Blick auf eine Fontaine richtete, so schloſs ich hieraus, daſs seine Entstehung nur davon, wie die

1) *Discours de la methode*, pag. 250—271.

Sonnenstralen auf die Wassertropfen, und von diesen ins Auge gelangen, abhängig sein müsse. Da ich nun wufste, dafs die Regentropfen kugelförmig sind, und dafs ihre Gröfse auf die Entstehung eines Regenbogens keinen Einflufs hat, so liefs ich eine gläserne, mit Wasser gefüllte, Kugel die Stelle eines Regentropfens vertreten. Ich nahm dieselbe ziemlich grofs, um bei meinem Versuche um so sicherer zu Werke zu gehen. So fand ich, dafs, wenn die Sonnenstralen aus der Gegend (Fig. 29.) *AF* auf die Kugel *BCD* fielen, und mein Auge in *E* war, der Theil *D* mir roth erschien, und ohne Vergleich heller, als der übrige Theil der Kugel, und dafs, ich mogte sie nähern oder entfernen, sie mehr zur Linken oder Rechten stellen, dieser Theil *D* mir immer auf gleiche Weise roth erschien, wenn nur die Linie *DE* einen Winkel von ungefähr 42° mit der Linie *EM* machte, die man vom Mittelpunkte des Auges gegen den der Sonne gezogen denken mufs. Vergröfserte ich aber den Winkel *DEM*, und war es auch noch so wenig, so verschwand diese Röthe sogleich; machte ich ihn aber ein wenig kleiner, so verschwand sie nicht sogleich, aber sie theilte sich vorher gleichsam in zwei Theile, in denen man Gelb, Blau und andere Farben unterschied. Sahe ich hierauf gegen die Stelle *K* der Kugel, so dafs der Winkel *KEM* ungefähr 52° betrug, so sahe ich auch diese Stelle roth, wenn gleich nicht so glänzend wie *D*. Machte ich diesen Winkel ein wenig gröfser, so zeigten sich andere, schwächere Farben; machte ich ihn aber nur ein wenig kleiner, oder viel gröfser, so bemerkte ich keine Farbe. Hieraus erkannte ich deutlich, dafs, wenn die Luft in der Gegend von *M* mit solchen Kugeln, oder an ihrer Stelle mit Regentropfen angefüllt wäre, in

jedem derselben ein rother und stark leuchtender Punkt *D*, der so gegen das Auge *E* liegt, dafs die von ihm nach *E* gezogene Linie mit *EM* einen Winkel von ungefähr 42° bildet, entstehen müsse, dafs alle diese rothen Punkte, wenn man ihren Ort durch kein anderes Mittel, als den für alle gleichen Winkel *DEM* beurtheilen kann, wie ein zusammenhängender rother kreisförmiger Streifen erscheinen, und dafs die übrigen gelben, blauen und anders gefärbten Punkte, von denen die nach *E* gezogenen Linien ein wenig spitzere Winkel mit *EM* machen, auf ähnliche Weise gelbe, blaue kreisförmige Streifen bilden, dafs aber alle anderen Tropfen, von denen die nach *E* gezogenen Linien mit *EM* nicht Winkel von ungefähr 42° machen, keine Farben zeigen müfsten. Indem ich hierauf genauer untersuchte, was die Kugel an der Stelle *D* roth erscheinen liefse, fand ich, dafs es die Sonnenstralen waren, die, von *A* nach *B* kommend, beim Eintritte in das Wasser in *B* gebrochen wurden, hierauf nach *C* gingen, und von dort reflektirt, und beim Austritte aus der Kugel in *D* zum zweiten Male gebrochen, in das Auge *E* kamen. Denn sobald ich die Kugel in *B* oder *D* mit einem undurchsichtigen Körper bedeckte, verschwand die rothe Farbe; bedeckte ich aber die ganze Kugel, mit Ausnahme der Punkte *B* und *D*, so zeigte sich die rothe Farbe sogleich wieder. Indem ich auf dieselbe Weise untersuchte, was die Ursache der Röthe in der Gegend von *K* sei, fand ich, dafs es die Sonnenstralen waren, die von *F* nach *G* kommend, in *G* nach *H* hin gebrochen, in *H* nach *I* hin reflektirt, hier abermals nach *K* zurückgeworfen wurden, und in *K* gebrochen in das Auge *E* gelangten. So zweifelte ich nicht mehr, dafs der Hauptregenbogen durch zwei

Brechungen und eine Reflexion, der äufsere Regenbogen aber durch zwei Brechungen und zwei Reflexionen des Sonnenlichtes entstehen, und dafs eben hierin der Grund liege, wefshalb der letztere nicht so deutlich, wie der erstere erscheint." Eine solche Bestimmung des Weges, den das Licht in den einzelnen Regentropfen nimmt, konnte freilich kein Bedenken weiter übrig lassen.

Descartes zweifelte anfänglich an der Identität der Farben im Prisma und in den Regentropfen, da er in den letzteren keine dunkeleren, die Farben begrenzenden Stellen, die ihm zur Erzeugung der prismatischen Farben nothwendig schienen, annehmen zu dürfen glaubte. Denn stellte er ein Prisma (Fig. 30.) *NPM*, bei welchem die Seiten *NM* und *NP* um einen Winkel von 30° bis 40° geneigt waren, so gegen die Sonne *ABC*, dafs ihre Stralen möglichst senkrecht auf die Seite *NM* fielen, so dafs sie in dieser keine merkliche Brechung erlitten, aber eine hinlänglich starke in der Seite *NP*, so zeigten zwar, wenn er dieselbe mit einem undurchsichtigen Körper bedeckte, in welchem eine kleine Oeffnung *DE* war, die durch diese Oeffnung hindurchgehenden Stralen auf einem weifsen Papiere *VGR* alle Farben des Regenbogens, die rothe in der Gegend *R*, und die violette an der höheren Stelle *V*: nahm er aber den undurchsichtigen Körper von der Seite *NP* weg, so verschwanden sogleich die Farben, und machte er die Oeffnung bedeutend gröfser, so breiteten sich defshalb die rothe, orange und gelbe Farbe in der Gegend von *R*, und die grüne, blaue und violette in der Gegend von *V* nicht mehr aus, sondern es entstand in der Mitte des Bildes bei *G* eine weifse Stelle. Descartes glaubte

sich daher zu der Folgerung berechtigt, dafs, falls die Farben des Regenbogens dieselben sind mit denen des Prisma, zu ihrer Entstehung weder die Krümmung der Wassertropfen nothwendig sei, noch eine Reflexion, da im Prisma keine Statt findet, noch endlich mehrere Refraktionen, da hier nur eine einzige ist; aber diese eine Refraktion hielt er für nothwendig, so wie eine dunkele Begrenzung des gebrochenen Lichtes, wenn sich Farben zeigen sollen.

Von solchen Zweifeln über die Entstehung der Regenbogen-Farben befangen, untersuchte er, unter welchen Winkeln Stralen, die auf einen Wassertropfen fallen, nach zwei Brechungen und einer oder zwei Reflexionen ins Auge kommen müssen, und fand, dafs nach einer Reflexion und zwei Brechungen bei weitem mehr Stralen unter einem Winkel von 41 bis 42 Graden zum Auge gelangen, als unter jedem anderen kleineren, dafs man aber keinen Stral unter einem gröfseren Winkel sehe; dafs ferner nach zwei Reflexionen und zwei Brechungen viel mehr Stralen unter einem Winkel von 51 bis 52 Graden das Auge erreichen, als unter jedem anderen gröfseren, kein Stral jedoch unter einem kleineren Winkel zum Auge komme. Da aber Schatten sehen nichts anderes heifst, als keine Lichtstralen, oder deren merklich weniger von einem Gegenstande, als von einem anderen angrenzenden bekommen, so glaubte Descartes hierin die gesuchte dunkele Begrenzung des in den Regentropfen gebrochenen Lichtes entdeckt zu haben. Er gab daher seine Zweifel an der Identität der prismatischen und Regenbogen-Farben auf, und überzeugte sich zugleich, dafs der Halbmesser des Hauptregenbogens nie gröfser, als 42°, der des äufseren nie klei-

ner, als 51° sein könne, und dafs der Hauptregenbogen an seiner äufseren Seite schärfer begrenzt, als an der inneren sein müsse, während das Gegentheil bei dem äufseren Regenbogen Statt findet. Ich fürchte aber, dafs alles, was ich hier anführte, weniger verständlich sein dürfte, wenn ich nicht die Rechnung selbst hersetze.

Es stelle der Kreis um (Fig. 31.) C einen Wassertropfen vor, dessen Halbmesser CD etwa in 10000 gleiche Theile getheilt sei. In senkrechter Richtung gegen denselben falle auf den Tropfen ein Lichtstral EF, der in F, statt in gerader Richtung nach G fortzugehen, nach K gebrochen, hier reflektirt nach N, in N zum zweiten Male nach dem Auge P hin gebrochen, oder in N noch einmal reflektirt, und in Q nach dem Auge R hin gebrochen wird. Sind auch NO und QS parallel mit FE, so kommt es darauf an, die Winkel ONP und RQS zu bestimmen. Man ziehe aus F die Linie FH winkelrecht auf den mit EF parallelen Halbmesser CA, und aus C die Linie CI winkelrecht auf FK. Die erstere ist der Sinus des Winkels BFE in der Luft, die andere der Sinus des Winkels CFI im Wasser. Wird nun das Brechungsverhältnifs aus Luft in Wasser $= n : 1$ gesetzt, so ist, wenn noch aus C durch N eine Linie CM gezogen, und GC bis zum Punkte V in NO verlängert wird:

$$\sin GFC : \sin KFC = n : 1,$$

und

$$\sin MNP : \sin KNC = n : 1.$$

Da aber Winkel $KFC = KNC$, so ist also auch Winkel $GFC = MNP$. Ferner hat man:

$$\begin{aligned}\angle NCV &= 180^\circ - GCN \\ &= 180^\circ - CNV - CVN \\ &= 180^\circ - CNV - CGF \\ &= 180^\circ - CNV - GFC \\ &= 180^\circ - CNV - MNP \\ &= ONP,\end{aligned}$$

daher

$$\angle ONP = NCV = 180^\circ + FCG - 2 . FCK.$$

Auf ähnliche Weise findet man den anderen gesuchten

$$\angle SQR = KCF - ONP.$$

Enthielte nun FH 8000 solcher Theile, wie deren CD 10000 hat, so kommen auf CI 5984 solcher Theile, wenn man das Brechungsverhältnifs aus Luft in Wasser, wie dies Descartes thut, $=250:187$ setzt. Für dies Verhältnifs von FC und FH findet man aber den Winkel $FCG = 73^\circ\, 44'$, und den Winkel $FCK = 106^\circ\, 30'$. Der Winkel ONP hat also nach der obigen Gleichung $40^\circ\, 44'$, und der Winkel SQR $65^\circ\, 46'$. Indem Descartes diese Rechnung für sechs und zwanzig Werthe von FH wiederholt, entwirft er folgende Tabelle:

Sinus *FH* des Winkels in der Luft.	Sinus *CI* des Winkels im Regentropfen.	Winkel *ONP*.	Winkel *SQR*.
1000	748	5° 40′	165° 45′
2000	1496	11° 19′	151° 59′
3000	2244	17° 56′	136° 8′
4000	2992	22° 30′	122° 4′
5000	3740	27° 52′	108° 12′
6000	4488	32° 56′	93° 44′
7000	5236	37° 26′	79° 25′
8000	5984	40° 44′	65° 46′
8100	6058	40° 58′	64° 37′
8200	6133	41° 10′	63° 10′
8300	6208	41° 20′	62° 54′
8400	6283	41° 26′	61° 43′
8500	6358	41° 30′	60° 32′
8600	6432	41° 30′	58° 26′
8700	6507	41° 28′	57° 20′
8800	6582	41° 22′	56° 18′
8900	6657	41° 12′	55° 20′
9000	6732	40° 57′	54° 25′
9100	6806	40° 36′	53° 36′
9200	6881	40° 4′	52° 58′
9300	6956	39° 26′	52° 25′
9400	7031	38° 38′	52° 0′
9500	7106	37° 32′	51° 54′
9600	7180	36° 6′	52° 6′
9700	7255	34° 12′	52° 46′
9800	7330	31° 31′	54° 12′

woraus man ersieht, dafs 41° 30′ das Maximum des Winkels *ONP*, und 51° 54′ das Minimum des Winkels *SQR* ist, und dafs sich die Menge der einfallenden Stralen bedeutend ändern könne, ohne dafs diese Winkel, unter denen sie entweder nach zwei Refrak-

tionen und einer Reflexion, oder nach zwei Refraktionen und zwei Reflexionen ins Auge kommen, eine merkliche Aenderung erleiden. Descartes bestimmt daher, indem er den Halbmesser der Sonne von ungefähr 17′ addirt oder subtrahirt, den gröfsten Halbmesser des Hauptregenbogens auf 41° 47′, und den kleinsten des äufseren Regenbogens auf 51° 37′.

Durch diese Rechnung glaubte Descartes alle Schwierigkeiten, welche die Theorie des Regenbogens bis dahin dargeboten hatte, beseitigt zu haben. Betrachten wir aber das Ergebnifs derselben genauer, so folgt daraus nichts weiter, als dafs von jedem Punkte der Sonne unter den Winkeln von 41° bis 42°, oder 51° bis 52°, mehr Stralen ins Auge kommen, als unter anderen, unter denen sie zu sehr zerstreut werden, um noch einen wirksamen Eindruck auf das Auge machen zu können; dafs man also unter diesen Winkeln zwei helle kreisförmige Streifen von der Breite der Sonnenscheibe sehen müsse. Warum aber diese Streifen gefärbt sind, und jeder farbige Streifen seine bestimmte Breite hat, warum endlich die Ordnung der Farben in beiden Regenbogen umgekehrt ist, dies ergab sich, aus der Rechnung wenigstens, keinesweges. Erst die von Newton entdeckte verschiedene Brechbarkeit des Lichtes gab über dies alles einen völlig genügenden Aufschlufs.

Da Descartes das Licht für die Bewegung eines feinen, aus unelastischen und die Fasern der Netzhaut afficirenden Kügelchen bestehenden, Stoffes hält, so glaubt er die Ursache der Farben in einer verschiedenen Bewegung dieser Lichtkügelchen suchen zu können, zumal da wir auch die verschiedenen Töne in der Musik durch nichts Anderes, als durch die Verschiedenheit der Bewegungen, in welche die Ge-

hörsnerven versetzt werden, unterscheiden. Solche Lichtkügelchen, die mit viel gröfserer Kraft sich um ihre Achse zu drehen, als in gerader Richtung fortzugehen streben, sollen die rothe Farbe; die aber, bei denen jene Kraft ein wenig geringer ist, die gelbe u. s. w.; diejenigen endlich, die sich nicht so schnell drehen, wie sie es thun würden, wenn sie nicht daran gehindert wären, die violette hervorbringen. Die grüne Farbe, welche die Mitte hält zwischen der rothen und violetten, und das Auge nie ermüdet, sondern demselben immer angenehm bleibt, sei defshalb der Oktave unter den konsonirenden Tönen, oder dem Brode unter den Speisen vergleichbar [1]). Schwarz sein solche Körper, die den Lichtstralen ihre ganze Kraft nehmen; weifs aber diejenigen, die das Licht zurückwerfen, ohne irgend eine Aenderung in seiner Wirksamkeit zu veranlassen.

Die Ursache der farbigen Ringe, die man zuweilen um eine Lichtflamme bemerkt, sucht endlich Descartes nicht in einer Brechung des Lichtes in der Luft, sondern im Auge selbst, indem er sich dabei auf eine Erfahrung beruft, die er kurz zuvor gemacht hatte. Auf einer Seereise hatte er, den Kopf auf die rechte Hand gestützt, das rechte Auge lange geschlossen gehabt, während er mit dem linken den Himmel betrachtete. Als man ein Licht brachte, und er das rechte Auge öffnete, sahe er zwei Ringe von den lebhaftesten Farben um die Lichtflamme. Der gröfsere war an der äufseren, von der Flamme abgewandten, Seite roth, an der inneren blau; der kleinere

1) *Tract. de homine*, pag. 66. *Viridis color*, *qui consistit in actione maxime moderata*, *instar est octavae inter sonos musicae consonantes*, *vel instar panis inter cibos*, *hoc est talis*, *qui magis omnibus universaliter gratus est.*

war an der äufseren Seite zwar auch roth, aber an der innern bis zur Flamme hin weifs. Schlofs er das rechte Auge, so verschwanden beide Ringe; sie erschienen aber wieder, sobald das rechte geöffnet, und das linke geschlossen wurde. Hieraus folgert nun Descartes, dafs das rechte Auge dadurch, dafs es längere Zeit von der Hand gedrückt worden war, disponirt wurde, die Stralen verschieden zu brechen, so dafs ein Theil derselben, auf gewöhnliche Weise gebrochen, den kleineren Ring, ein anderer Theil, noch mehr seitwärts gebrochen, den gröfseren bewirkte. Woher die kreisförmige Brechung komme, hierüber gesteht er, einen genügenden Aufschlufs nicht geben zu können. Dafs aber die rothe Farbe an der äufseren Seite erscheint, werde erklärlich, wenn man die Krystall-Linse mit dem Prisma, und die Netzhaut mit der, das Spektrum auffangenden, Ebene vergleiche.

Wenn gleich aus allem Bisherigen erhellt, dafs im Gebiete der Optik nur die Theorie des Regenbogens durch Descartes wesentlich erweitert wurde, so geht er hierbei doch nach einem so musterhaften Plane zu Werke, dafs man ihn mit Recht dem grossen Newton zur Seite gestellt hat.

Von der Entdeckung der Brenn- und Vereinigungsweiten der sphärischen Spiegel und Gläser.

Bonaventura Cavaleri giebt im Jahre 1647. eine Regel zur Berechnung der Brennweiten aller sphärischen Gläser — Isaak Barrow bestimmt im Jahre 1674. die Vereinigungsweiten eines jeden Glases besonders — Edmund Halley entdeckt im Jahre 1693. die für die Vereinigungsweiten aller sphärischen Spiegel und Gläser giltige Formel.

Erst in der Mitte des siebzehnten Jahrhunderts war die Analysis, besonders durch die nicht genug anzuerkennenden Verdienste Descartes's um diesen Theil der Mathematik, so weit gediehen, dafs man die Sätze, durch welche Kepler die Brennweiten einiger Linsen berechnet hatte, unter eine allgemeine Regel, unter eine Formel bringen konnte.

So viel ich finden kann, war der erste, der diesen Gedanken fafste, Bonaventura Cavaleri, jener bekannte Geometer, dem die Methode der Mathematik viele wichtige Verbesserungen zu verdanken hat. Er giebt, um die Brennweiten aller Linsen zu berechnen, folgende Regel [1]: „*In omnibus lentibus convexis vel cavis, in contrarias partes vergentibus: ut aggregatum ex semidiametris convexitatum vel cavitatum (sed in convexis vel cavis, in eandem partem vergentibus, ut earumdem semidiametrorum differentia) ad semidiametrum convexitatis vel cavitatis, radios parallelos adspicientis, ita duplum reliquae*

1) Pag. 462. in den *Exercitationes geometricae sex, auctore F. Bonaventura Cavalerio, Mediolanensi, ordinis Jesuatorum S. Hieronymi priore, et in almo Bononiensi archigymnasio primario mathematicarum professore. Bononiae,* 1647. 4to. 543 Seiten.

semidiametri est ad distantiam foci ab ipsa lente." Sind also die beiden Oberflächen einer konvexen oder konkaven Linse nach entgegengesetzten Seiten gekrümmt, so soll sich die Summe $f+g$ der Halbmesser der Konvexitäten oder Konkavitäten zum Halbmesser f der, den parallelen Lichtstralen zugewandten, Seite verhalten, wie das Doppelte $2g$ des anderen Halbmessers g zur Brennweite p, woraus sich

$$p = \frac{2fg}{f+g}$$

ergiebt. Sind aber die beiden Oberflächen des Glases, wie bei den Menisken, nach derselben Seite gekrümmt, so soll die Differenz der beiden Halbmesser statt ihrer Summe genommen werden. Einige Seiten nachher[1]) drückt Cavaleri die Regel auch durch die Durchmesser, und zwar so aus: „*In convexis vel cavis, in contrarias partes vergentibus: ut aggregatum (sed iis, ad eandem partem constitutis, ut differentia) diametrorum utriusque faciei ad alterutram ex iisdem diametris, ita reliqua diameter ad distantiam foci a lente.*" Man wird nicht erwarten, dafs Cavaleri, nach der Sitte der jetzigen Mathematiker, einen bestimmen Fall zum Grunde gelegt, und, unter Anwendung des Begriffes vom Gegensatze der Gröfsen, aus diesem alle übrigen hergeleitet habe, sondern er beweist vielmehr auf ähnliche Weise, wie es Kepler gethan hatte, die Richtigkeit der Regel für alle Arten von Linsen besonders. Eben daher kommt es auch, dafs seine Formel, die, wenn z. B. ein doppelt-konvexes Glas zum Grunde gelegt wäre, für ein doppelt-konkaves negativ werden müfste, blofs als eine absolute Gröfse genommen ist. Unter dieser

1) Pag. 490.

Voraussetzung ist sie richtig, wenn man das Brechungsverhältniſs aus Luft in Glas = 3 : 2 setzt, wie dies Cavaleri überall thut.

Die Entdeckung der Vereinigungsweiten der Gläser, wenn die Lichtstralen nicht parallel mit der Achse einfallen, ist viel später. Ich darf aber, um hiermit die Bestimmung der Brenn- und Vereinigungspunkte endlich zu beseitigen, der Zeitfolge um so mehr vorgreifen, da ich bisher der vergeblichen Bemühungen, diese Punkte zu finden, schon so oft habe gedenken müssen.

Isaak Barrow [1]), der Lehrer Newton's, ist der erste Optiker, welcher die Berechnung der Vereinigungsweiten, für jedes Glas besonders, auf einem sehr mühsamen Wege unternahm, wie dies der vierzehnte Abschnitt seiner „Vorlesungen über die Optik" [2]) zeigt. Eine für die Vereinigungsweiten aller sphärischen Spiegel und Gläser giltige Formel fand Edmund Halley erst im Jahre 1693.

Obgleich hierdurch eine Veranlassung, ein neues, lichtvolleres System der Optik zu begründen, gegeben war, so folgte David Gregory in seinen „Elementen der Katoptrik und Dioptrik" [3]), die er zwei Jahre

1) Er ist 1630. in London geboren, studirte in Cambridge, wurde, nachdem er von einer Reise nach der Levante zurückgekehrt war, im Jahre 1660. Professor der Griechischen Litteratur in Cambridge, und einige Jahre nachher Professor der Mathematik. Im Jahre 1672. wurde er Rektor des Trinitäts-Kollegiums, und bald hernach Vice-Kanzler der Universität. Er starb 1677., und wurde in der Westminster-Abtei beerdigt, wo ihm ein Denkmal errichtet ist.

2) *Lectiones opticae et geometricae, auctore Isaaco Barrow, collegii S. Trinitatis in academia Cantab. praefecto, et societatis Regiae sodale. Londini*, 1674. 4to. 21 Bogen.

3) *Catoptricae et dioptricae sphaericae elementa. Oxon.*, 1695. 8vo. Auch hat man eine Englische Uebersetzung dieses

später, als die Halleysche Formel bekannt wurde, herausgab, nichtsdestoweniger der weitschweifigen Methode Barrow's. Die „Optik"[1]) Jakob Gregory's, die schon im Jahre 1663. erschien, ist nicht sowohl wegen der Untersuchungen, die dort über den Ort und die Lage der durch sphärische Spiegel und Gläser bewirkten Bilder angestellt sind, bemerkenswerth, als vielmehr wegen der Beschreibung einer verbesserten Einrichtung des Spiegel-Teleskopes, die ich in einer der folgenden Abhandlungen mittheilen werde.

Da es ohne Zweifel von Interesse ist, den ursprünglich geführten Beweis für die Formel der Vereinigungsweiten zu kennen, so will ich denselben hier mittheilen. Es sei die Entfernung des leuchtenden Punktes (Fig. 32.) E von der vorderen (dem Lichte zugekehrten) Seite einer doppelt-konvexen Linse BB, die Linie $EA = a$, die Dicke AD des Glases $= d$, der Halbmesser CA der Vorderfläche $= f$, der der Hinterfläche $FD = g$, die Entfernung des Punktes M,

Werkes: *Dr. Gregory's elements of catoptrics and dioptrics, translated from the Latin original, with a large supplement, by William Browne.* In der zweiten Ausgabe London, 1735. derselben ist ein Anhang über die reflektirenden Teleskope von Desaguliers hinzugefügt. Gegen das Ende des Buches erwähnt David Gregory der Halleyschen Formel mit folgenden Worten: „*I had determined to have subjoined a general Calculation, for finding the Foci of any Speculum or Lens universally: but that is abundantly done already for Lenses by that excellent Analyst Edm. Halley, in the Philosophical Transactions for November* 1693., *and elegantly applied to particular Cases.*" Die Formel mit dem Beweise giebt Browne in den Zusätzen.

1) *Optica promota, seu abdita radiorum reflexorum et refractorum mysteria, geometrice enucleata, auctore Jacobo Gregorio, Abredonensi Scoto. Londini,* 1663. 4to. 134 Seiten.

in welchem der Stral EG nach der ersten Brechung die Achse schneiden würde, von der Vorderfläche des Glases in A, nämlich $AM = x$, und die Entfernung des Punktes T, in welchem der Stral nach der zweiten Brechung die Achse schneidet, von der hinteren Fläche, die Linie $DT = y$, ferner der Winkel $AEG = \varphi$, so ist, wenn das Verhältnifs der Sinus kleiner Winkel dem Verhältnisse der Winkel selbst gleich gesetzt, und der Halbmesser CG beliebig bis K verlängert wird:

$$\angle EGK : \angle CGM = n : 1,$$
$$EC : CG = a + f : f = \angle EGK : \varphi,$$

daher

$$\angle EGK = \frac{a+f}{f}\varphi,$$

und

$$\angle CGM = \frac{a+f}{nf}\varphi.$$

Es ist ferner

$$\angle ECG = \angle EGK - \varphi = \frac{a}{f}\varphi,$$

folglich

$$(1)\ CM : GM = x - f : x = \angle CGM : \angle ECG = \frac{a+f}{n} : a,$$

und

$$(2)\ x = \frac{afn}{a(n-1) - f}.$$

Die unter (1) gefundene Proportion wird nun noch einmal so angewendet, dafs der Punkt T, in welchem der Stral, nach der zweiten Brechung in der Hinterfläche, die Achse schneidet, die Stelle des Punktes M, und dieser die Stelle des Punktes E einnimmt, so dafs also

$$MF = x + g - d \text{ statt } EC = a + f,$$
$$TF = y + g \text{ statt } CM = x - f,$$

$MD = x - d$ statt $EA = a$,
$TD = y$ statt $GM = x$, und
$\frac{1}{n}$ statt n

genommen wird. Hierdurch entsteht für den Punkt T die Proportion

$$y + g : y = n(x + g - d) : x - d,$$

woraus, wenn für x der Werth aus (2) genommen wird, folgt:

$$y = \frac{g(afn - (n-1)\,ad + df)}{(n-1)\,(afn - (n-1)\,ad + fd + agn) - nfg},$$

oder, wenn $\frac{1}{n-1} = N$ gesetzt wird:

$$(3)\quad y = \frac{g(afnN - ad + dfN)}{afn - (n-1)\,ad + fd + agn - fgnN}.$$

In dieser Gestalt erscheint die Formel für die Vereinigungsweite der Linsen bei **Halley**, nur ist darin das Brechungsverhältnifs nicht durch $n:1$, sondern durch $I:R$ ausgedrückt. Setzt man die Dicke d des Glases $= 0$, so wird

$$(4)\quad y = \frac{Nafg}{af + ag - Nfg}.$$

Diese Formel würde sich bekanntlich kürzer aus der Gleichung (2) haben herleiten lassen, wenn man hierin

$-DM = -(x - d)$ statt a,
$-g$ statt f, und
$\frac{1}{n}$ statt n

genommen hätte. Es wäre alsdann für $d = 0$ die Vereinigungsweite

$$(5)\quad \alpha = \frac{gx}{x(n-1) + ng} = \frac{afg}{a(n-1)\,(f+g) - fg},$$

so wie der obige **Halleysche** Werth. Für ein un-

endlich grofses a erhält man hieraus zugleich die Brennweite

$$(6)\ p = \frac{fg}{(n-1)(f+g)},$$

und, wenn man p statt $\frac{fg}{(n-1)(f+g)}$ in den Werth von α setzt, eine zweite Formel für die Vereinigungsweite, nämlich

$$(7)\ \alpha = \frac{ap}{a-p},$$

folglich auch

$$(8)\ p = \frac{a\alpha}{a+\alpha}.$$

Beide Werthe von p geben endlich die dioptrische Fundamental-Formel

$$(9)\ \frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

Diese Gleichung ist unabhängig von der Apertur BB der Linse. Es haben daher alle von E ausgehenden, und in derselben gebrochenen, Stralen ihren Vereinigungspunkt in T, und dieser Punkt ist das Bild von E.

Zugleich liegt in (2) der Beweis der katoptrischen Formel, die eben diese Gestalt:

$$(10)\ \frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

erhält, wenn man dort a negativ, $2p$ statt f, und $n = -1$ setzt, indem sich die Reflexion als eine Brechung ansehen läfst, bei welcher der Brechungswinkel dem Einfallswinkel gleich und entgegengesetzt ist.

Diese Formel für die Vereinigungsweite der Spiegel, die blofs aus der Theorie hergeleitet werden konnte, und der nicht, wie der dioptrischen, eine Menge der feinsten Beobachtungen zur Ermittelung

des wahren Brechungsgesetzes vorangehen durfte, scheint indeſs auch erst um dieselbe Zeit, wie die letztere, entdeckt worden zu sein. David Gregory führt sie in seinen „Elementen" noch nicht an, sondern er zeigt bloſs [1]), daſs (Fig. 2.) E der Vereinigungspunkt sein müsse, wenn sich verhält $EC : CD = EM : DM$, ohne hieraus die Formel selbst, die sich sogleich ergiebt, wenn man $CA = 2p$, $AD = a$, und $AE = \alpha$ setzt, herzuleiten. Daſs sie damals wenigstens noch nicht in allgemeinem Gebrauche gewesen sei, geht aus den Worten hervor, mit denen Browne in den Zusätzen ihre Entwickelung beginnt. „Wir können", sagt er, „das katoptrische Problem, die Vereinigungsweite eines Spiegels zu finden, auf allgemeine Weise lösen; welches zu thun, wie Gregory am Ende seines Werkes berichtet, einst seine Absicht war."

Durch die Entdeckung der Formeln (9) und (10) war die Lage und Gröſse der Bilder bei allen Arten von Spiegeln und Gläsern mathematisch bestimmt, da man in denselben unter a auch die Entfernung eines leuchtenden Punktes auſserhalb der Achse von einem Spiegel oder Glase, und unter α seine Vereinigungsweite verstehen kann. Denn schneiden sich der aus einem solchen Punkte (Fig. 2.) H nach einem beliebigen Punkte M eines Hohlspiegels BB gezogene Stral HM, und der im optischen Mittelpunkte A einfallende sogenannte Hauptstral HA nach der Reflexion in h, so ist, wenn man HM rückwärts bis zur Achse in D verlängert, und den Punkt, in welchem dieser Stral nach der Reflexion die Achse schneidet, mit E bezeichnet, aus (10):

1) Prop. IV.

$$(11)\ \frac{1}{p} = \frac{1}{AD} + \frac{1}{AE}$$

Zieht man noch die Lothe HG und hg auf die Achse, so hat man ferner, da der Bogen AM nur wenige Grade haben darf, und sich daher als eine gerade, auf der Achse senkrechte Linie ansehen läfst, in den ähnlichen Dreiecken AMD und GHD:

$$AM : GH = AD : GD,$$

oder

$$AM - GH : AM = AG : AD,$$

woraus

$$\frac{1}{AD} = \frac{1}{AG} - \frac{GH}{AM \,.\, AG}.$$

Ferner ist in den ähnlichen Dreiecken AME und ghE:

$$AM : gh = AE : Eg,$$

oder

$$AM + gh : AM = Ag : AE,$$

woraus

$$\frac{1}{AE} = \frac{1}{Ag} + \frac{gh}{AM \,.\, Ag}.$$

Setzt man diese Werthe von $\frac{1}{AD}$ und $\frac{1}{AE}$ in die Gleichung (11), und berücksichtigt man, dafs wegen der ähnlichen Dreiecke HAG und hAg die Quotienten $\frac{GH}{AG}$ und $\frac{gh}{Ag}$ gleich sind, so ergiebt sich:

$$(12)\ \frac{1}{p} = \frac{1}{AG} + \frac{1}{Ag} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha},$$

wenn man auch hier die auf der Achse genommenen Entfernungen der Punkte H und h von dem Spiegel mit a und α bezeichnet. Wird $GH = b$, und $gh = \beta$ gesetzt, so ist zugleich

$$(13)\ \beta = \frac{\alpha}{a} b.$$

Da in der Gleichung (12) die Apertur des Spiegels nicht vorkommt, so haben alle, von H ausgehenden,

und vom Spiegel reflektirten Stralen ihren Vereinigungspunkt in h, und da auch die Gleichung (13) von GH nicht abhängig ist, so hat jeder Punkt in GH sein Bild in einem Punkte von gh. Jede zwei zusammengehörigen Theile in b und β haben also das unveränderliche Verhältnifs $a:\alpha$, d. h. es ist das Spiegelbild β dem Gegenstande b ähnlich.

Schon bei der Gleichung (10) wurde die nur näherungsweise richtige Voraussetzung gemacht, dafs $EM = EA$ sei; hier kommt aber noch die gleichfalls nur näherungsweise richtige Voraussetzung hinzu, dafs der Bogen AM als eine gerade Linie angesehen werden könne. Es wird daher das Bild um so mehr an Aehnlichkeit mit dem Gegenstande verlieren, je weiter es von der Achse entfernt liegt.

Alles, was hier von den Bildern sphärischer Spiegel gesagt ist, gilt auch von den Bildern sphärischer Gläser. Wird ein doppelt-konvexes Glas bei seiner, gegen die Entfernung des Gegenstandes immer nur unbedeutenden, Dicke durch die gerade Linie (Fig. 33.) BB vorgestellt, und ist H ein leuchtender Punkt ausserhalb der Achse desselben, so habe der nach einem beliebigen Punkte E des Glases gezogene Stral HE eine solche Lage, dafs er rückwärts verlängert die Achse in D, nach der Brechung in C, und den Hauptstral HA, der, weil die Oberflächen des Glases im optischen Mittelpunkte beinahe parallel sind, als ungebrochen angesehen werden kann, in h trifft. Es ist alsdann aus (9):

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{DA} + \frac{1}{CA}.$$

Verlängert man den Stral CE beliebig bis F, fällt die Lothe HG und hg auf die Achse, und sieht den Winkel HAE als einen rechten an, so hat man ferner:

$$\angle HEF = EDC + DCE = EHh + HhE,$$

$$\angle EDC = \frac{EA}{DA}, \ \angle DCE = \frac{EA}{CA},$$

$$\angle EHh = \frac{EA}{HA}, \ \angle HhE = \frac{EA}{hA},$$

daher

$$(14)\ \frac{1}{p} = \frac{1}{DA} + \frac{1}{CA}$$
$$= \frac{1}{HA} + \frac{1}{hA}$$
$$= \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

Es gilt also auch für sphärische Gläser, wenn der Gegenstand GH mit b, und sein Bild gh mit β bezeichnet wird, die Gleichung:

$$(15)\ \beta = \frac{\alpha}{a} b.$$

Da die Gleichung (7), wenn $a = p$, der Gegenstand also in den Brennpunkt gestellt wird, für α einen unendlich grofsen Werth giebt, die von jedem Punkte des Gegenstandes auf einen Spiegel oder ein Glas einfallenden Stralen folglich so reflektirt oder gebrochen werden, dafs sie nach der Reflexion oder Brechung parallel sind, und sich nicht zu einem Bilde vereinigen können, so bleiben nur die beiden Fälle zu betrachten übrig, wenn der Gegenstand entweder innerhalb oder aufserhalb der Brennweite steht.

Es sei demnach für einen Hohlspiegel, dessen Brennweite als die positive angesehen werde, $a = \frac{p}{m}$, und $m > 1$, der Gegenstand also innerhalb der Brennweite, so ist aus (7):

$$\alpha = -\frac{p}{m-1} = -\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{m^2} \ldots\right) p,$$

worin das Minuszeichen andeutet, dafs in diesem Falle

die Vereinigungsweite auf der Seite des optischen Mittelpunktes, welche der, bei der Entwickelung der Formel in Fig. 2., angenommenen entgegengesetzt ist, also hinter dem Spiegel liegt; und aus (13):

$$\beta = -\frac{m}{m-1}b = -\left(1 + \frac{1}{m} + \frac{1}{m^2}\ldots\right)b,$$

woraus folgt, dafs das Bild jedesmal gröfser ist, als der Gegenstand, und überhaupt um so gröfser, je kleiner m, je gröfser also a genommen wird; endlich dafs es aufrecht ist, weil es in Fig. 2. unterhalb der Achse liegt.

Steht zweitens der Gegenstand aufserhalb der Brennweite, ist also $a = mp$, und $m > 1$, so hat man

$$\alpha = \frac{m}{m-1}p = \left(1 + \frac{1}{m} + \frac{1}{m^2}\ldots\right)p,$$

und

$$\beta = \frac{b}{m-1}.$$

Das Bild liegt folglich vor dem Spiegel, es ist umgekehrt, wie in Fig. 2., und wird um so kleiner, je grösser m ist, je entfernter vom Brennpunkte sich also der Gegenstand befindet.

Dafs eben diese Formeln in beiden Fällen auch für das doppelt-konvexe, plan-konvexe und konkav-konvexe Glas, durch welche, wie durch einen Hohlspiegel, parallele Stralen koncentrirt werden, deren Brennweite folglich positiv ist, giltig sind, leuchtet von selbst ein.

Durch konvexe Spiegel werden Stralen, die der Achse parallel sind, so zerstreut, als kämen sie aus einem Punkte, der ungefähr in der Mitte des Halbmessers hinter der polirten Fläche liegt. Während daher die Brennweite solcher Spiegel negativ ist, bleibt a positiv, weil der Gegenstand auch hier vor

der spiegelnden Fläche stehen mufs. Man hat folglich für $a = mp$:

$$\alpha = -\frac{m}{m+1}p,$$

$$\beta = -\frac{b}{m+1},$$

d. h. wo auch der Gegenstand vor einem konvexen Spiegel stehen mag, so ist doch sein aufrechtes Bild jedesmal kleiner, als er selbst, und hinter dem Spiegel innerhalb der Brennweite gelegen.

Dieselben Formeln gelten auch für das doppelt-konkave, plan-konkave und konvex-konkave Glas.

Zugleich war hierdurch die Entstehung der Bilder in den Fernröhren erklärt, da das durch jede Linse bewirkte Bild die Stelle eines Gegenstandes für die nächste vertritt, und sich selbst in dem Falle, wenn das Bild eines Sammelglases eher, als es zu Stande gekommen ist, durch eine andere Linse aufgefangen wird, die Lage und Gröfse des so entstehenden Bildes nach denselben Formeln leicht angeben läfst. Denn es sei (Fig. 34.) $GH = \beta$ ein Bild, welches durch das Sammelglas AA entstehen würde, wenn man es nicht vorher durch ein zweites Sammelglas BB auffinge, so ist hier CG, die Entfernung der Linse BB von GH, welches die Stelle eines Gegenstandes für dieselbe vertritt, negativ zu setzen, weil GH hinter diesem Glase liegt. Es ist daher, wenn man CG mit a', die Vereinigungsweite der in BB gebrochenen Stralen mit α', und die Brennweite dieses Glases mit p' bezeichnet:

$$\alpha' = \frac{a'}{a'+p'}p',$$

und, wenn β' das Bild ist von β:

$$\beta' = \frac{\alpha'}{-a'}\beta = -\frac{p'}{a'+p'}\beta,$$

d. h. das zweite Bild β' liegt oberhalb der Achse, hat also dieselbe Lage mit dem ersten Bilde β, ist wegen des Faktors $\frac{p'}{a'+p'}$ kleiner, als β, und, wegen des Faktors $\frac{a'}{a'+p'}$ in dem Werthe von α', innerhalb der Brennweite p' befindlich.

Wäre endlich *BB* ein Zerstreuungsglas, während *AA* ein Sammelglas bleibt, so würde man die so eben geführte Rechnung nur dahin abzuändern haben, dafs man in dem Werthe von α' die Brennweite p' negativ setzt. Es ist alsdann

$$\alpha' = \frac{a'}{p'-a'}p',$$

folglich, wenn $p' > a'$, das erste Bild β also innerhalb der Brennweite des Zerstreuungsglases steht:

$$\beta' = -\frac{p'}{p'-a'}\beta,$$

und, wenn $p' < a'$:

$$\alpha' = -\frac{a'}{a'-p'}p',$$

$$\beta' = \frac{p'}{a'-p'}\beta.$$

Im ersten Falle liegt also β' hinter dem Zerstreuungsglase auf der von dem Lichte abgewandten Seite, es hat dieselbe Lage mit β, und ist um so gröfser, je gröfser a' ist; im anderen, der bei dem Holländischen Fernrohre seine Anwendung findet, liegt es vor dem Zerstreuungsglase, hat eine im Vergleiche mit β umgekehrte Lage, und ist um so gröfser, je kleiner a' genommen wird.

Eben diese Formeln sind auch für Spiegel giltig, die so gestellt werden, daſs das Bild des Objektiv-Spiegels, der jedesmal ein konkaver sein muſs, früher, als es zu Stande gekommen ist, durch einen konkaven oder konvexen Spiegel aufgefangen wird.

Da aus allem Bisherigen hervorgeht, daſs das von einem leuchtenden Punkte ausgehende, und von einem runden Spiegel reflektirte, oder in einer Linse gebrochene Licht eben so, wie das einfallende, die Gestalt eines Kegels hat, und das Bild eines leuchtenden Punktes nichts anderes, als die Spitze des reflektirten oder gebrochenen Lichtkegels ist, so lassen sich alle jene Formeln auf eine einfache Weise geometrisch konstruiren, wenn man erwägt, daſs die Lage dieser Kegelspitze schon durch den Durchschnittspunkt zweier reflektirten oder gebrochenen Stralen bestimmt ist, und hierzu den der Achse parallelen, und den Hauptstral wählt. Wäre z. B. (Fig. 35.) BB ein Hohlspiegel, A sein optischer Mittelpunkt, F sein Brennpunkt, das Objekt GH winkelrecht auf der Achse, und innerhalb der Brennweite, so wird der von H parallel mit der Achse gezogene Stral HB nach dem Brennpunkte F, der Hauptstral HA aber nach der Richtung AO unter demselben Winkel gegen die Achse, unter welchem er einfällt, reflektirt. Beide Stralen, BF und AO, divergiren vor dem Spiegel, weil der Winkel $HAF = FAO$ gröſser ist, als sein Wechselwinkel BFA, wie man sich überzeugt, wenn man im Brennpunkte F ein Loth $FK = GH$ auf der Achse errichtet, und die halbe Apertur AB als eine gerade Linie betrachtet. Sie kommen daher so ins Auge O, als schnitten sie sich hinter dem Spiegel in h, und da alle übrigen, von H ausgehenden, und auf dem Spiegel reflektirten, Stralen auf eben diesen Punkt h ge-

richtet sind, so ist er das Bild von *H*, und die winkelrecht auf der Achse stehende Linie *gh* das aufrechte und vergröfserte Bild von *GH*; alles in Uebereinstimmung mit den obigen Resultaten.

Auf ähnliche Weise lassen sich auch die übrigen Formeln konstruiren. Ist der Gegenstand (Fig. 36.) *GH* aufserhalb der Brennweite *AF* eines Hohlspiegels *BB* befindlich, und man wiederholt die vorige Konstruktion, so konvergiren die reflektirten Stralen *BF* und *Ah* vor dem Spiegel auf den Punkt *h* hin. Das Bild *gh* ist daher in diesem Falle umgekehrt, es kommt durch wirkliche Vereinigung der Lichtstralen zu Stande, und läfst sich mit einem undurchsichtigen Körper auffangen.

Ist aber die konvexe Seite von *BB* polirt, und das Objekt *G'H'* in beliebiger Entfernung vor diesem konvexen Spiegel, so wird der mit der Achse parallele Stral so reflektirt, als käme er aus dem hinter dem Spiegel befindlichen Brennpunkte *F*, wodurch das aufrechte, verkleinerte, und innerhalb der Brennweite gelegene Bild *g'h'* entsteht.

Durch dieselbe Konstruktionsmethode findet man auch die Bilder der Sammel- und Zerstreuungsgläser, wenn man die durch den optischen Mittelpunkt, wo die beiden Glasflächen als parallel anzusehen sind, hindurchgehenden Stralen als ungebrochen betrachtet.

Diese Konstruktionsmethode, deren sich zuerst Robert Smith in seinem schon angeführten Werke *System of Optiks*, Cambridge, 1738. bedient, ist selbst in dem Falle anwendbar, wenn das Bild (Fig. 34.) *GH*, welches ein Sammelglas bewirken würde, vor seinem Entstehen durch ein zweites Glas aufgefangen wird. Ist z. B. diese zweite Linse, wie in der Figur, auch ein Sammelglas *BB*, so wird unter den aus *AA* aus-

tretenden, und auf den Punkt *H* gerichteten, Stralen der mit der Achse parallele *AB* nach dem Brennpunkte *F* des Glases *BB* gebrochen, und von dem durch den optischen Mittelpunkt *C* dieses Glases ungebrochen hindurchgehenden Strale in *h* geschnitten, weſshalb, wo auch *GH* stehen mag, jedesmal ein kleineres, aufrechtes, und innerhalb der hinteren Brennweite von *BB* gelegenes Bild *gh* entsteht. Ob übrigens solche Stralen, wie sie die Konstruktion voraussetzt, für das zweite Glas wirklich vorhanden sind, oder nicht, hierauf kommt es offenbar nicht an, weil, falls sie nicht vorhanden sind, alle übrigen zu *H* gehörigen Stralen denselben Vereinigungspunkt *h* haben, den jene beiden, wenn sie vorhanden wären, haben würden.

Athanasius Kircher.

Geb. 1601., gest. 1680.

Er erwähnt des zuerst von La Galla beschriebenen Bononischen Steines, des nephritischen Holzes, macht auf die sogenannten physiologischen Farben aufmerksam, beschreibt die *Laterna magica*, und zeigt, wie man in der Luft schwebende Bilder darstellen könne.

Wir nähern uns immer mehr der Zeit, in welcher die Litteratur der Optik fast jährlich durch Dissertationen und selbst gröſsere Schriften vermehrt wird, die weder in einer Beziehung zur Geschichte dieser Wissenschaft stehen, noch selbst das untergeordnete Verdienst haben, das bereits Gewonnene in einer bündigen und lichtvollen Auffassung zusammengestellt zu haben.

Eine Schrift dieser Art aus dem Anfange des siebzehnten Jahrhunderts ist „Die Optik" Friedrich Risner's [1]), den wir schon als Uebersetzer Alhazens kennen; ein so unbedeutendes Buch, dafs ich es überhaupt nicht nennen würde, wenn es nicht einer Zeit angehörte, in der die Optik, sich als Wissenschaft zu gestalten, erst anfing. Nach dem Tode Risner's wurde es durch Nicolaus Crugius, auf Veranlassung des Landgrafen Moritz von Hessen, herausgegeben.

Eben so werthlos ist des Ismael Bullialdus [2]) Traktat „Ueber die Natur des Lichtes", in welchem die verschiedenen Hypothesen über dasselbe, nach

1) *Opticae libri quatuor, ex voto Petri Rami novissimo, per Frid. Risnerum. Cassellis*, 1606.

2) *De natura lucis. Parisiis*, 1638. Bullialdus (Bouilleaud), geboren zu Laon im Jahre 1605., trat in seinem 27sten Jahre von der reformirten zur katholischen Religion über, wurde Priester, und starb in Paris 1694.

Einen gröfseren Ruf hat er sich durch seine *Astronomia Philolaica. Parisiis*, 1645. Fol. 169 Seiten in 12 Büchern, erworben. Schon lange vor Newton äufsert er hier (lib. I, pag. 23.) den Gedanken, dafs, wenn die Behauptung Kepler's, es erfolge die Bewegung der Planeten durch eine von der Sonne ausgehende Kraft, gegründet sein sollte, diese Anziehungskraft im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernungen zwischen der Sonne und den Planeten abnehmen müsse. Seine eigenen Worte, die zu denkwürdig sind, als dafs ich sie hier nicht anführen sollte, lauten so: „*Virtus illa, qua sol prehendit seu harpagat planetas, corporalis quae ipsi* (*Keplero*) *pro manibus est, lineis rectis in omnem mundi amplitudinem emissa, quasi species solis, cum illius corpore rotatur. Cum ergo sit corporalis, imminuitur et extenuatur in majori spatio et intervallo, ratio autem huius imminutionis eadem est, ac luminis, in ratione nempe dupla intervallorum, sed eversa. Hoc non negavit Keplerus, attamen virtutem motricem in simpla tantum ratione intervallorum contendit imminui.*" Der allgemein verbreitete Glaube, dafs Newton zuerst das obige Naturgesetz entdeckt habe, ist daher durchaus nicht in der Wahrheit begründet.

denen man es bald für ein Accidens, bald für eine Substanz, bald für etwas Intentionales gehalten hatte, gesammelt sind.

Auch des Marinus Mersenne „Sieben Bücher über die Optik“ [1]) enthalten nichts, als eine höchst trockene Zusammenstellung damals längst bekannter optischer Sätze, meist ohne Beweise.

Um so wichtiger dagegen ist aus der ersten Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts des Jesuiten Athanasius Kircher *Ars magna lucis et umbrae* [2]), ein Buch, das ich früher schon mehrmals angeführt habe.

Gleich im Anfange dieses Werkes wird von dem sogenannten Bononischen Steine gehandelt, der die Eigenschaft hat, im Dunkeln zu leuchten, wenn er einige Zeit hindurch dem Sonnenlichte (nicht aber dem Kerzenlichte) ausgesetzt war. Die Geschichte dieses Steines beginnt, wie aus einer Nachricht bei Julius Cäsar La Galla [3]) erhellt, mit Galilei. Als dieser nämlich mehrere Naturkundige, unter denen La Galla selbst war, zu astronomischen Beobachtungen eingeladen hatte, der Himmel aber trübe wurde, so lenkte Galilei das Gespräch auf die Natur des Lichtes, indem er gegen die Meinung, daſs dasselbe eine unkörperliche Qualität sei, Zweifel er-

1) *Universae geometriae mixtaeque mathematicae synopsis. Paris*, 1644. Mersenne, der in einem Alter von 60 Jahren 1648. in Paris starb, gehörte dem Minimen-Orden an.

2) Die erste Ausgabe erschien 1646. in Rom; die Amsterdamer Ausgabe ist vom Jahre 1671. Kircher, geboren zu Geisa, in der Nähe von Fulda, lehrte in Würzburg, später in Avignon und Rom die Philosophie, Mathematik und die orientalischen Sprachen.

3) *De phaenomenis in orbe lunae, Venetiis*, 1612., pag. 58. Priestley irrt also, wenn er die Entdeckung des Bononischen Steines durch einen Schuhmacher, Vincenz Cascariolo, in das Jahr 1630. setzt. Geschichte der Optik, pag. 265.

hob, da er Steine, die man bei Bologna fände, kennen gelernt habe, die das Sonnenlicht theilweise, als ob es ein Körper sei, aufnehmen, und kurze Zeit hindurch zurückhalten. Bei anbrechender Dämmerung, als er dergleichen Steine aufserhalb des Fensters gehalten, und sie hierauf in ein dunkeles Zimmer gebracht hatte, beseitigte er alle Zweifel seiner Freunde an der Wahrheit seiner Behauptung. Vor Kircher hatte diesen Stein auch Fortunius Licetus [1]) beschrieben, der sogar den Mond zu einem Bononischen Steine machen will, weil er sich das schwache Licht des von der Sonne nicht erleuchteten Theiles der Mondoberfläche nicht besser zu erklären weifs. Kircher selbst bemerkt, dafs der Stein, den man nicht blofs bei Bologna, sondern auch in den Alaunbergwerken bei Tolpha finde, die Eigenschaft des Leuchtens in höherem Grade zeige, wenn er zu Pulver gerieben, mit Wasser, Eiweifs oder Leinöl durchknetet, und in einem Ofen kalcinirt wird. Darin aber, dafs einige Körper das Licht gleichsam einsaugen können, findet er keinen hinreichenden Grund, dasselbe für etwas Körperliches zu halten, indem man alsdann mit demselben Rechte auch daraus, dafs ein Eisen nach ausgelöschtem Feuer einige Zeit fortglüht, die Körperlichkeit des Lichtes folgern müfste.

Bei den Farben des Regenbogens, deren Entstehung Kircher eben so, wie seine Vorgänger, erklärt, führt er ein Holz an, das dem Wasser, je nachdem man es im zurückgeworfenen oder gebrochenen Lichte sieht, verschiedene Farben mittheilt. Dies Holz sei weifs, komme aus Mexiko, und werde von den Einge-

1) *Litheosphorus, seu de lapide Bononiensi, in tenebris lucente. Utini,* 1640.

borenen **Coatl** oder **Tlapazatli** genannt [1]). Er findet die Beobachtung Anderer, dafs Wasser durch dieses Holz nur blau gefärbt werde, nicht bestätigt. Wasser, das in einem undurchsichtigen Gefäfse auf dasselbe gegossen wurde, nahm eine um so intensivere blaue Farbe an, je länger er es stehen liefs. That er aber dies Wasser in eine gläserne Kugel, und setzte es dem Lichte aus, so bemerkte er keine Spur der blauen Farbe, sondern es erschien klar und farblos, wie Brunnenwasser. An einem schattigen Orte aber nahm es die grüne Farbe an, an einem noch dunkeleren eine röthliche. **Kircher** hatte diese Verschiedenheit der Farben zuerst an einem Becher aus diesem Holze bemerkt, den er von dem Prokurator der Jesuiten in Mexiko zum Geschenke erhalten, und bald hernach dem Kaiser überreicht hatte. Man nannte dieses Holz **nephritisches**, weil es sich bei Nieren- und Blasenkrankheiten als ein zuverläfsiges Mittel gezeigt hatte.

Bei den Farben der Thiere wird auch des Chamäleon erwähnt [2]), das **Kircher** gleichfalls aus eigener Erfahrung beschreibt, da ein Franciskaner-Mönch im Jahre 1639 unter anderen Seltenheiten auch ein lebendes Chamäleon aus Palästina nach Rom gebracht hatte. Man war bis dahin der Meinung gewesen, dafs dieses Thier zwar alle übrigen Farben, nicht aber die weifse und rothe, annehmen könne. **Kircher** aber überzeugte sich, indem er es auf weifse und rothe Tücher stellte, dafs es auch diese Farben eben so lebhaft, wie jede andere, zeige, so dafs es von jedem Gegenstande, auf dem es sich befindet, kaum unter-

1) *Amstel.*, pag. 56.
2) Pag. 63.

schieden werden kann. Er ist mit der Erklärung dieser Eigenschaft des Thieres bald im Reinen, indem er den sichersten Schutz eines so langsamen, waffenlosen und furchtsamen Geschöpfes, wie es das Chamäleon ist, gegen die Nachstellungen seiner Feinde in eben dieser Eigenthümlichkeit desselben findet.

Kircher ist auch der erste Optiker, der auf die später sogenannten physiologischen Farben aufmerksam machte. Ein gewisser Joseph Bonacursius hatte in die Oeffnung des Fensterladens in einer optischen Kammer ein mit bunten Farben bemaltes Papier gestellt, und, wenn er die Oeffnung schlofs, auf einem vor die Augen gehaltenen weifsen Papiere die verschiedensten Farben entstehen sehen. Kircher, dem diese Entdeckung mitgetheilt war, spricht von derselben, als einer höchst wunderbaren, und äussert die Meinung, dafs das Auge sich eben so gegen die Farben, wie der Bononische Stein gegen das Licht, verhalten möge [1]).

Mit grofser Sorgfalt beobachtete Kircher die Brechung des Lichtes nicht blofs beim Uebergange aus Luft in Glas oder Wasser, sondern auch in Wein und Oel, indem er sich bei den Flüssigkeiten derselben Vorrichtung, wie Ptolemäus, bediente [2]). Sie besteht nämlich in einem Gefäfse (Fig. 37.) *AFD*, im Inneren in Gestalt einer möglichst genauen Halbkugel, deren Quadrant *FD* eingetheilt ist, und in einer um den Mittelpunkt *C* beweglichen Alhidade, die an dem gleichfalls eingetheilten Quadranten *AE* verschoben werden kann. Um die brechende Kraft irgend einer Flüssigkeit zu prüfen, füllte er dies Ge-

1) Pag. 119.
2) Pag. 602.

fäfs bis *C* mit derselben an, und bemerkte mit einem dünnen Stäbchen unter ihr den Punkt, auf welchen die Dioptern der Alhidade gerichtet waren. Die Abweichung dieses Punktes von der Gröfse des jedesmaligen Einfallswinkels *BCE* gab sodann den von dem einfallenden und gebrochenen Strale gebildeten Winkel. Auch schlägt er, mit Weglassung der Alhidade, eine dünne Röhre vor, um durch dieselbe das Sonnenlicht zu leiten. Dafs er aber eine nach Kepler's Hypothese bis auf Sekunden berechnete Tabelle für die Brechung aus Luft in Wasser mittheilt, ungeachtet Descartes schon das wahre Brechungsgesetz bekannt gemacht hatte, dies beweist nur, dafs dieser wichtigen Entdeckung anfänglich keineswegs die Aufmerksamkeit gewidmet wurde, welche sie doch in so hohem Grade verdient.

Mit Bewunderung spricht Kircher von der Wirkung einer *Laterna magica* [1]). In einem Raume, der bis auf zwei Oeffnungen geschlossen ist, läfst er das Licht einer Lampe auf einen Hohlspiegel, und von diesem auf ein Sammelglas fallen, das am Ende einer Röhre, die eine Spanne lang sein, und aufserhalb des geschlossenen Raumes sich dem Spiegel gegenüber befinden soll, befestigt ist. Werde alsdann am Anfange dieser Röhre, dicht an der äufseren Laternenwand, die dem Spiegel gegenüber liegt, ein Planglas mit durchsichtigen Bildern umgekehrt aufgestellt, so

1) Bekanntlich wird Kircher für den Erfinder dieses optischen Instrumentes gehalten. Da aber Dechales berichtet (*Mundus mathem.*, vol. III, pag. 696.), dafs ihm ein Däne schon im Jahre 1665. eine *Laterna magica* mit zwei konvexen Gläsern gezeigt habe, und Kircher erst in der Amsterdamer Ausgabe der *Ars magna* vom Jahre 1671., nicht aber in der ersten Ausgabe, *Romae*, 1646., von diesem Instrumente spricht, so hält man ihn vielleicht mit Unrecht für den Erfinder desselben.

sehe man dieselben in einem finsteren Zimmer auf einer weifsen Wand aufrecht und vergröfsert. Die Röhre könne aber auch einwärts angebracht sein [1]).

Die Wirkung dieses, freilich nur unter die optischen Spielereien gehörigen, Instrumentes wird bekanntlich viel bedeutender, wenn man zwei oder gar drei Sammelgläser nimmt. Bei zwei Gläsern wird das Bild innerhalb der Brennweite des der Lampe nächsten aufgestellt, in welchem das Licht so gebrochen wird, als käme es von einem gröfseren und entfernteren Bilde. Dies steht aufserhalb der Brennweite des anderen Glases, und giebt daher auf einer weifsen Wand ein umgekehrtes und vergröfsertes Bild.

Die von **Vitello** und **Porta** gegebene Aufgabe, Luftbilder so erscheinen zu lassen, dafs der Zuschauer ihre Entstehung nicht bemerken kann, wird auch von **Kircher** wieder aufgenommen [2]), der die uns schon

1) *Fiat ex ligno receptaculum, deinde caminus, ut lucerna per illum fumum suum emittere possit, lucerna vero in medio ponatur, vel affixa filo ferreo, vel supra fulcrum, e regione foraminis, intra quod tubus palmaris committatur, in tubi vero principio lenticulare vitrum melioris notae inseratur, in foramine vero seu in fine tubi vitrum planum ponatur, in quo coloribus aqueis et diaphanis, quidquid volueris, pingatur. Hoc pacto intra cubiculum obscurum in muro candido lumen lucernae, vitrum lenticulare transiens, imaginem in vitro plano depictam, quae everso situ ponitur, rectam et grandiorem exhibebit. Tubulus vero intra vergere potest, vel extra. Amstel.*, pag. 769.

In den beiden sehr sauberen Zeichnungen der Zauberlaterne ist die Röhre einwärts befestigt, und der Schieber befindet sich dicht an der äufseren Seite der Wand, die der Lampe gegenüber liegt. Es ist aber nicht einzusehen, wie dadurch eine Vergröfserung der Bilder möglich werden soll, da alsdann das durch diese gefärbte Licht in der Linse nicht gebrochen wird. **Kircher** irrt, wenn er es auch für zuläfsig hält, den Schieber entfernter von der Lampe, als das Sammelglas aufzustellen.

2) Pag. 779.

bekannten Vorschläge jener beiden Optiker für ganz unausführbar hält. Die eigene Erfahrung hatte ihn überzeugt, dafs man dergleichen Bilder am täuschendsten erhalte, wenn man sich entweder blofs eines horizontal liegenden Hohlspiegels bedient, oder den Gegenstand auf den Boden eines hohlen, an der inneren Seite spiegelnden, Cylinders legt, an dessen oberer Oeffnung das Luftbild alsdann bei einer gewissen Stellung des Auges erscheint.

Gaspar Schott.

Geb. 1608., gest. 1666.

Er giebt eine ausführliche Beschreibung der anamorphotischen Netze, und erklärt die Entstehung der Fata Morgana.

Fast dieselben optischen Gegenstände, über welche Kircher handelt, finden wir in dem ersten Theile der *Magia universalis naturae et artis* [1]) des Jesuiten Schott [2]) wieder, nur lichtvoller und in besserem Style vorgetragen. Vergebens würde man aber auch hier, so wie überhaupt in den optischen Werken der Jesuiten des siebzehnten Jahrhunderts, eine wissenschaftliche Entwickelung der Optik, wie sie von Kepler begonnen war, suchen; Schott ist so unsicher in der Theorie, dafs er den seit Euklid über die Lage des Brennpunktes eines Hohlspiegels geführten Streit nicht zu entscheiden wagt [3]). Mechanische Regeln

1) Die von mir gelesene Ausgabe ist eine Würzburger vom Jahre 1657. Scheibel giebt als die älteste eine Frankfurter von demselben Jahre an.

2) Er ist in Königshofen bei Würzburg geboren, war Professor der Moral-Theologie und der Mathematik in Palermo, und zuletzt Professor der Mathematik in Würzburg.

3) Lib. VII, cap. 2.

zur Bewerkstelligung überraschender, auf den ersten Blick nicht erklärlicher, optischer Erscheinungen, mit vielen, für die Geschichte der Optik wichtigen, Bemerkungen machen den Hauptinhalt dieses bekannten Werkes aus. Da ich mich früher schon oft auf Schott's Autorität berufen habe, so will ich mich besonders auf die Zeichnung der Anamorphosen, die hier vollständiger, als in allen früheren Schriften, beschrieben wird, und auf die Erklärung der Fata Morgana beschränken.

Wenn auch Maurolycus schon über die Cylinder-Spiegel bemerkt [1]), dafs sie nicht ihrer Länge, sondern nur ihrer Breite nach, die Dimensionen der Bilder ändern, so fand man doch nicht früher, als im Anfange des siebzehnten Jahrhunderts, die Regeln, nach denen Bilder, die in solchen Spiegeln regelmässig erscheinen sollen, verzerrt werden müssen [2]). Die, diesen Gegenstand betreffenden, Versuche wurden erst in der Zeit von 1630. bis 1646. von Vaulezard [3]), Herigonius [4]), Bettinus [5]), Kircher [6]) und Fran-

1) *Theorem. de lumine et umbra, ed. Clavius*, pag. 35.

2) Gewöhnlich wird diese Erfindung dem bekannten Mathematiker Simon Stevin, dem Lehrer des Prinzen Moritz von Nassau, zugeschrieben, ohne dafs ich das Werk, in dem er hiervon handeln soll, irgendwo näher angedeutet gefunden hätte. Was er in der *Sciagraphia*, einem Theile seiner Optik, die in den *Hypomnemata mathematica. Lugd. Bat.*, 1608. enthalten ist, sagt, dürfte sich höchstens nur auf die sogenannten optischen Anamorphosen beziehen. In den mir bekannten Schriften Stevin's habe ich die anamorphotischen Netze vergebens gesucht.

3) *Abrégé ou raccourci de la perspective. Paris*, 1631. Montucla, tom. I, pag. 713.

4) *Cursus mathem. Parisiis*, 1634.

5) *Marii Bettini Apiaria universae philosophiae mathem. Bononiae*, 1642.

6) In der *Ars magna*.

cisous Niceron [1]) angestellt, von denen, mit Ausnahme des ersten, die Regeln, welche Schott mittheilt, entlehnt sind.

Zunächst giebt Schott mehrere Methoden an, die sogenannten optischen Anamorphosen zu zeichnen, unter denen eine der einfachsten folgende ist [2]): Um das regelmäfsige Bild beschreibe man ein Quadrat (Fig. 38.) *ABCD*, so dafs ersteres von diesem ganz eingeschlossen ist, theile jede Seite dieses Quadrates in eine gleiche Anzahl gleicher Theile, etwa in vier, und verbinde die Theilpunkte so, dafs kleinere Quadrate entstehen. Hierauf ziehe man in der Ebene, in welcher die Anamorphose gezeichnet werden soll, eine Linie (Fig. 39.) *EF*, durch den Punkt *F* die Winkelrechte *GH* von beliebiger Länge, auf der man zu beiden Seiten von *F* halb so viele gleiche Theile, als jede Seite des Quadrates hat, aufträgt, nämlich oberhalb dieses Punktes die beiden Theile *FK* und *KH*, unterhalb die diesen gleichen *FI* und *IG*, und verbinde *E* mit den Punkten *H*, *K*, *I*, *G*. In *E* errichte man hierauf, winkelrecht gegen *EF*, die Linie *EO*, und ziehe *OG*, die jede der aus *E* gezogenen Linien in den Punkten *M*, *N*, *P*, *Q* schneidet. Durch diese Punkte beschreibe man die Linien *MR* u. s. w. parallel mit *HG*, und man wird in der Figur *MRGH* eben so viele Vierecke bekommen, als in *ABCD* Quadrate enthalten sind. In jedes dieser Vierecke trage man endlich den Theil des Bildes ein, der sich in dem, mit derselben Zahl bezeichneten, kleinen Quadrate in *ABCD* befindet, so dafs, was in der Mitte dieser Quadrate liegt, in den Durchschnittspunkt der

1) *Thaumaturgus opticus ad Cardinalem Mazarinum. Paris.*, 1646.

2) Pag. 108.

Diagonalen der Vierecke gesetzt wird. Betrachtet man dann die so gezeichnete Anamorphose durch eine kleine Oeffnung bei *O*, während dadurch, dafs alles von der Seite einfallende Licht abgehalten wird, dem Auge die Mittel genommen sind, die Entfernung einer jeden Stelle in der Anamorphose zu beurtheilen, so ist die Bestimmung dieser Entfernung nicht mehr Sache der Empfindung, sondern der Phantasie, die geneigter ist, sich statt des Zerrbildes ein regelmäfsiges Bild vorzustellen, und die in der Ebene *MG* liegenden Punkte näher an das Auge in eine hierauf senkrechte Ebene versetzt.

Unter mehreren von Schott angeführten Methoden, die cylindrischen und konischen Anamorphosen zu zeichnen, ist die von Bettinus entlehnte eine der kürzesten [1]). Er will, dafs das regelmäfsige Bild auf ein um den Cylinder-Spiegel gekrümmtes Papier gemalt, an möglichst vielen Punkten mit einer Nadel durchstochen, innerhalb des Papier-Cylinders eine Lichtflamme aufgestellt, und der auf einem Blatte, auf welchem der Cylinder steht, durch die erleuchteten Stellen angedeutete Umrifs nachgezeichnet werde. Nehme man statt des Papieres den Spiegel, so sehe ein Auge an derselben Stelle vor diesem Spiegel, an welcher die Flamme vorhin hinter dem Papiere stand, die Anamorphose als regelmäfsiges Bild. Dasselbe Verfahren bringt Schott auch für die konischen Spiegel in Vorschlag.

Die auf theoretischen Gründen beruhenden Regeln, beide Anamorphosen zu zeichnen, findet man in

1) Pag. 160.

den Werken von **Milliet Dechales**, **Christian Wolf**[1]) und **Robert Smith**[2]).

Die Regel für die konischen Anamorphosen bedarf keines künstlichen Beweises, indem sie unmittelbar aus dem Reflexionsgesetze folgt. Denn es sei (Fig. 40.) *ABC* der Durchschnitt des halben Kegel-Spiegels, und sein Halbmesser *AB* in die gleichen Stücke *AD*, *DE*, *EF*, *FB* u. s. w. getheilt; ferner sein aus einem Punkte *O* in der verlängerten Achse die Linien *OD*, *OE*, *OF* gezogen, welche die reflektirende Seite *BC* in *M*, *N*, *P* treffen, und die Winkel *OCL*, *OML* u. s. w. den Winkeln *KCB*, *IMB* u. s. w. gleich gemacht: so sieht ein Auge in *O* den Punkt *K* in *A*, den Punkt *I* in *D* u. s. w. Beschreibt man daher mit den Halbmessern (Fig. 41.) *AD*, *AE* u. s. w. bis *AK* koncentrische Kreise, zieht durch *A* Linien unter Winkeln von 45°, die alle jene Kreise durchschneiden, bezeichnet die innerhalb der Grundfläche des Spiegels in gleichen Abständen folgenden Ringe mit den Zahlen 1, 2, 3, 4, und setzt diese Zahlen in umgekehrter Ordnung in die übrigen vier Ringe, so ist das anamorphotische Netz vollendet, indem man nur noch die Stücke des regelmäfsigen Bildes, die in den Kreisen innerhalb der Grundfläche liegen, in die mit denselben Zahlen bezeichneten Kreise aufserhalb derselben übertragen darf. Das Quadrat *mnop* z. B. würde als konische Anamorphose die Gestalt *m'q'n'o'p'* erhalten, indem z. B. *q* in dem Kreise, der die Ringe 2 und 3 trennt, liegt, und daher *q'* in eben diesen Kreis aufserhalb der Grundfläche des Spiegels eingetragen werden mufs.

1) *Elementa matheseos*, tom. III, pag. 205. sqq.
2) In **Kästner's** Deutscher Uebersetzung, pag. 93. sqq.

Etwas künstlicher ist die Zeichnung der cylindrischen Anamorphosen, indem sie die Kenntnifs mehrerer Sätze, die ich vorausschicken will, erfordert. Die Erfahrungen, dafs das Bild eines geraden, sehr dünnen Stäbchens, welches gegen den Cylinder-Spiegel seiner Länge nach, also parallel mit der Achse desselben, gehalten wird, wieder gerade, und der Achse parallel sei; ferner, dafs eben dasselbe Statt finde, wenn man das Stäbchen in die erweiterte Grundfläche des Cylinders so legt, dafs es verlängert eine Sehne oder ein Durchmesser dieser Grundfläche wird, und dafs in beiden Fällen das Bild innerhalb des Spiegels, und zwar der Oberfläche näher, als der Achse zu liegen scheine; endlich, dafs das Bild sich gekrümmt zeige, wenn das Stäbchen nach der Breite des Cylinders in die erweiterte Grundfläche gelegt wird: alle diese Erfahrungen, die darin ihren Grund haben, dafs ein solcher Spiegel seiner Höhe nach als ein ebener, seiner Breite nach als ein konvexer anzusehen ist, setze ich als bekannt voraus. Unter dem Subokular-Punkte soll der Punkt (Fig. 43.) A verstanden werden, in welchem die erweiterte Grundfläche des Cylinder-Spiegels PQ von einem aus dem Auge O gefällten Lothe getroffen wird; eine Linie AC, in derselben erweiterten Grundfläche aus diesem Punkte A nach der reflektirenden Seite CG in C gezogen, soll die Subokular-Linie, und CF, die Richtung, welche AC, als ein Lichtstral betrachtet, nach der Reflexion in C annimmt, die Objektiv-Linie heissen. Die Sätze, auf welche es hier besonders ankommt, sind folgende:

1. Stellt (Fig. 42.) PQ einen Cylinder-Spiegel vor, so ist der von dem einfallenden Strale AB, und dem Stücke BM der reflektirenden Seite MN gebildete

Winkel *ABM* gleich dem Winkel *CBN*, der von dem reflektirten Strale *BC*, und dem anderen Stücke *BN* der reflektirenden Seite gebildet wird.

Man mache $AB = BC$, $BM = BN$, und fälle aus *A* und *C* die Lothe *AD* und *CF* auf die Ebene, die den Cylinder in *MN* berührt, und auf welcher die durch *AB* und *BC* gelegte Einfallsebene lothrecht steht, so ist *FBD*, die Durchschnittslinie beider Ebenen, eine Tangente des Cylinders, und es sind in den kongruenten Dreiecken *CBF* und *ABD* die Lothe *CF* und *AD*, so wie die Seiten *BF* und *BD* einander gleich. Zieht man ferner die Linien *FN*, *CN*, *AM* und *DM*, so ergiebt sich aus der hieraus folgenden Kongruenz der Dreiecke *FBN* und *DBM* die Gleichheit der Linien *FN* und *DM*, hierdurch wieder die Kongruenz der Dreiecke *ADM* und *CFN*, weil die Winkel *CFN* und *ADM* rechte sind, und die Gleichheit der Linien *AM* und *CN*. In den beiden Dreiecken *ABM* und *CBN* sind also alle drei Seiten, und defshalb der Winkel *ABM* dem Winkel *CBN* gleich. Zugleich folgt hieraus, dafs es

2. für den leuchtenden Punkt *A* und das Auge *C*, dies als ein Punkt betrachtet, nur einen einzigen Reflexions-Punkt *B* giebt.

Denn gesetzt, es gebe noch einen anderen Reflexionspunkt *E*, so würde, wenn man die gleichen Winkel *AEM* und *CEN* mit *w*, und die gleichen Winkel *ABM* und *CBN* mit *x* bezeichnet, *w* zugleich gröfser und kleiner, als *x*, sein können.

3. Es verhält sich die Höhe des Auges zu der des Reflexionspunktes, wie die Summe der Subokular- und Objektiv-Linie zur letzteren.

Es sei (Fig. 43.) *OA* die Höhe des Auges über der erweiterten Grundfläche des Cylinders, *CG* die

reflektirende Seite, *CF* die Objektiv- und *AC* die Subokular-Linie, *B* der Reflexionspunkt für *F* nach 2., *BC* also die Höhe des Reflexionspunktes, so sind, wenn man die Linien *AC* und *OB* verlängert, bis sie sich in *D* schneiden, die rechtwinkeligen Dreiecke *CBF* und *CBD* kongruent, weil der Winkel $OBG = CBD = CBF$ nach 1., folglich $CD = CF$, und

$$OA : BC = AC + CF : CF.$$

Die Zeichnung des anamorphotischen Netzes erfordert nun nichts weiter, als daſs diese Proportion konstruirt werde. Man ziehe also aus dem Subokular-Punkte (Fig. 45.) *A* die Tangenten *AB* und *AD* an die Grundfläche des Cylinder-Spiegels, theile die Sehne *BD*, welche für die Seite des Quadrates, das sich im Spiegel darstellen soll, zu nehmen ist, weil das Bild im Cylinder-Spiegel zwischen dem Mittelpunkte und der Oberfläche desselben liegt, in die vier gleichen Theile *BF*, *FI*, *IG*, *GD*, oder auch in mehrere, und verbinde *A* mit den Theilpunkten *F*, *I*, und *G* durch Linien, welche die Peripherie der Grundfläche in *R*, *S* und *T* schneiden. Die Subokular-Linie *AR* trage man alsdann rechtwinkelig an die Höhe (Fig. 44.) *oa* des Auges nach *ar* an, errichte in *r* die Winkelrechte $rs = BD$, theile *rs* in eben so viele gleiche Theile, wie *BD*, nämlich in die vier gleichen Theile *rn*, *np*, *pq* und *qs*, und ziehe aus *o* durch die Punkte *n*, *p*, *q* und *s* Linien, welche die verlängerte *ar* in *h*, *k*, *l* und *m* treffen. Auf der in (Fig. 45.) *R* reflektirten Linie trage man hierauf die Stücke $RH = rh$, $HK = hk$, $KL = kl$, $LM = lm$ ab, wiederhole das ganze Verfahren bei den Subokular-Linien *AB*, *AS*, *AT*, *AD*, und ziehe durch die so erhaltenen Punkte derselben Ordnung Kurven, oder, da es hier nicht auf absolute Genauigkeit ankommt,

jedesmal durch drei derselben Kreisbogen, wie dies in der Figur geschehen ist. Aus 3. folgt alsdann, dafs die Anamorphose *QAPDB* im Cylinder-Spiegel ungefähr die Gestalt eines Quadrates haben werde, das in sechszehn gleiche Quadrate getheilt ist [1]).

Jakob Leupold, ein Mechaniker in Leipzig, ist der Erfinder zweier Maschinen von solcher Einrichtung, dafs, während ein zeichnender Stift den Umrifs des regelmäfsigen Bildes durchläuft, ein anderer die konische oder cylindrische Anamorphose beschreibt [2]). Ich übergehe die Beschreibung dieser Maschinen, so wie auch die sogenannten dioptrischen Anamorphosen, zu deren Zeichnung Wolf

1) Kircher giebt in der Amsterdamer Ausgabe der *Ars magna*, pag. 136., folgende Regel: *Fiat primo circa imaginem datam quadratum* bd, *divisum per lineas perpendiculares et transversales in quotlibet quadratula, inter se aequalia. Secundo ex* C *centro, in medio plani assumto, fiat circulus* BSD, *cuius diameter sit aequalis diametro basis speculi cylindrici. Tertio semidiametrum* CS *divide in quatuor partes aequales, et, in tertia parte* E *posito circini pede, describe tot circulos, quot lineas transversales continet quadratum, nempe quinque in exemplo nostro. Primus circulus* UHV *distet ea distantia a centro, quantam reflexio in speculum sufficiens postulat, quae pro varia specularis basis seu sustentaculi altitudine varia est; reliqui sequentes circuli crescant proportione, quam habent* 20 *ad* 21. *Poteris tamen eosdem circulos sine scrupulo efficere aequalis inter se distantiae. Quarto dividatur circumferentia prima* UHV *in tot partes aequales, in quot divisa est basis* bd *quadrati, nempe hic in quatuor, relicto tamen arcu aliquo ab* U *in* V, *tanquam superfluo, cuius magnitudinem usus et experientia determinabit. Si jam ex centro* C *per puncta divisionum lineae rectae in ultimam circumferentiam ducantur, habebis figuram, quadrato proportionatam optice, divisam in tot spatia, in quot quadratula divisum est dictum quadratum. Quinto in haec spatia transfer ex imagine prototypa partes correspondentes, et habebis imaginem dissipatam.*

2) Man findet eine Zeichnung dieser Maschinen und ihrer einzelnen Theile in den *Actis erudit.*, 1712., pag. 273. und 367.

gleichfalls Anleitung giebt [1]), da ich schon zu viel über die Geschichte dieser Spielereien gesagt zu haben befürchte.

Von gröfserem wissenschaftlichen Interesse ist die von Kircher und Schott gegebene Erklärung der unter dem Namen der Fata Morgana bekannten Luftspiegelung. Als Begleiter des Landgrafen Friedrich von Hessen auf einer Reise nach Malta hatte der erstere nicht nur Syrakus, der Archimedischen Brennspiegel wegen, sondern auch die Küsten von Messina und Rhegium im Jahre 1636. besucht, um sich über die Entstehung jener, sich hier zuweilen zeigenden, Luftspiegelung Aufschlufs zu verschaffen [2]). Schott war sogar zweimal, in den Jahren 1633. und 1652., in Messina gewesen, um selbst, wo möglich, die Luftspiegelung zu beobachten. Doch beiden glückte es nicht, sich von der Wahrheit dessen, was sie darüber gehört hatten, zu überzeugen, so dafs sie sich nur auf die Aussage glaubwürdiger Männer, die alle darüber verbreiteten Gerüchte bestätigten, verlassen mufsten. Man sehe zuweilen eine Reihe von Gebäuden perspektivisch geordnet, oder, wenn diese verschwunden sind, weitausgedehnte Gefilde mit Heerden und Wäldern bedeckt, kurz eine auf das mannigfaltigste belebte Landschaft, und dies alles mit so künstlicher Mischung des Lichtes und Schattens, dafs menschliche Kunst kaum etwas ähnliches hervorbringen könne. Doch zeige sich diese Erscheinung nur in den heifsesten Tagen des Jahres, und bei ruhigem Wetter.

Beide, Kircher und Schott, fanden die Küste

1) *Elementa math*, tom. III, pag. 294.
2) *Ars magna*, pag. 704.

bei Messina mit Kies bedeckt, der mit vielen Metallstückchen und anderen spiegelnden Körperchen gemengt war. Hierin, vielleicht auch in dem schattigen Zuge der Berge, die in das Vorgebirge Pelorus auslaufen, und besonders in der Gestalt der beiderseitigen Küsten, deren Entfernung nicht gröfser, als 12000 Schritte gefunden wurde, verbunden mit dem Umstande, dafs die Erscheinung sich nur bei grofser Hitze zeige, glaubten beide die Ursache derselben gefunden zu haben [1]). Bei so hoher Temperatur verdunste nicht nur das Meerwasser sehr stark, sondern es erheben sich zugleich mit diesem Dunste die festen Körperchen der Küste in die Atmosphäre, da man dies defshalb nicht bezweifeln könne, weil sich zuweilen in den Hagelkörnern fremdartige Bestandtheile vorfänden. Dadurch entstünden Schichten von verschiedener Dichtigkeit in der Luft, die, beschattet von dem dunkelen Zuge des Gebirges, einen Luftspiegel bilden, der bei veränderter Lage gegen das Auge bald diese, bald jene Bilder zeige.

1) *Magia univers. nat. et artis*, pag. 176.

Die ersten Spiegel-Teleskope.

Der Jesuit Nicolaus Zucchius bringt, schon sieben Jahre nach der Erfindung des Holländischen Fernrohres, das erste Spiegel-Teleskop zu Stande — Im Jahre 1639. schlägt Mersenne eine andere Einrichtung vor, die der im sogenannten Gregoryschen Teleskope ähnlich ist — Jakob Gregory kannte das nach ihm benannte Teleskop nicht aus eigener Erfahrung. Es wurde vielmehr erst im Jahre 1674. durch Hooke zu Stande gebracht, nachdem Newton schon im Jahre 1668. ein Teleskop von einer anderen Einrichtung verfertigt hatte.

Da ein Sammelglas und ein Hohlspiegel bei einer ähnlichen Lage des Objektes ähnliche Bilder hervorbringen, so lag der Gedanke, in dem Holländischen Fernrohre einen Hohlspiegel zum Objektive zu nehmen, zu nahe, als dafs man nicht bald nach der Erfindung dieses Fernrohres auf denselben hätte verfallen sollen.

Schon im Jahre 1616. suchte der Jesuit Nicolaus Zucchius [1]) ein Teleskop dieser Art zu Stande zu bringen. Da aber die Spiegel, die er bekommen konnte, unvollkommen gearbeitet waren, so entsprach anfänglich die Erfahrung nicht seinen Erwartungen, so wie er sich auch vergebens bemüht hatte, sobald das Gerücht von der Erfindung des Holländischen Fernrohres zu ihm gedrungen war, mit den Konvex-Gläsern, die als Brillen gebraucht wurden, ein Teleskop, welcher Art es auch sein mögte, zusammen zu setzen. Als er aber in der Folge einen sehr genau gearbeiteten Metall-Spiegel bekam, diesen auf Gegenstände am Himmel und auf der Erde richtete, und in einer passenden Entfernung ein Hohlglas

1) Er ist 1586. in Parma geboren, und starb 1670. in Rom.

ans Auge hielt, so zeigte sich der Erfolg, den er aus der Theorie erwartet hatte [1]).

Wenn auch Instrumente dieser Art, ihres kleinen Gesichtsfeldes wegen, nicht in allgemeineren Gebrauch gekommen sind, so mufs doch Zucchius, der zuerst durch die Verbindung eines Spiegels mit einem Glase ein Fernrohr zu Stande brachte, der Erfinder des Spiegel-Teleskopes genannt werden.

Etwa zwanzig Jahre später gab Mersenne eine andere Einrichtung des Spiegel-Teleskopes an [2]). Er bringt zwei parabolische Hohlspiegel, einen gröfseren und kleineren, in Vorschlag, von denen der letztere in der Nähe des Brennpunktes des ersteren stehen soll, um Stralen, die vom gröfseren konvergirend auffallen, parallel zu reflektiren, und sie durch eine Oeffnung in diesem Spiegel ins Auge zu senden. Diese Oeffnung aber dürfe die Pupille des Auges, oder die Oberfläche des kleineren Spiegels nicht übersteigen,

1) *Anno* 1616., *dum aliqua de theoria tubi optici commentarer, apud me statui, eundem effectum, qui per refractionem in vitro aliquomodo convexo, ad objecta converso, obtinetur, obtineri posse per reflexionem a speculo cavo. Tentavi experimentum diu, sed irrito conatu, ex imperfecta elaboratione huiusmodi speculorum, quos reperire poteram, sicut per vitra convexa, quae emendandis oculis senum adhibentur, frustra tentavi, tubum opticum qualemcunque mihi aptare, cum primo de ipso aliquid inaudivi; quia inaequalitas configurationis, quae in usu perspiciliorum consueto minus nocet, in tubo parit confusionem. Tandem speculum ex aere cavum, e museo viri clarissimi transmissum ad amicum, ab experto et accuratissimo artifice elaboratum, nactus, ejus ope ad terrestria et coelestia conversi, adhibito in convenienti situ ad oculum vitro cavo proportionaliter, ut fit ad excipiendam radiationem refractam vitri convexi in tubo optico, expertus sum ita evenire, ut ratio suadebat eventurum. Nicolai Zucchii Optica philosophia. Lugduni*, 1652., pag. 126.

2) *Phaenomena hydraulico-pneumatica. Paris*, 1644. pag. 96.

damit nicht fremdes Licht dem Lichte der Objekte, und der Deutlichkeit des Sehens nachtheilig werde. Es müsse vielmehr jedes fremde Licht durch eine inwendig schwarze, und beide Spiegel umgebende Röhre, und auf jede andere Weise abgehalten werden. Bringe man diese Vorkehrungen in Anwendung, so werde man die Bilder, wenn die konkave Oberfläche des gröſseren Spiegels 16 mal gröſser, als die des kleineren ist, 256 mal gröſser, oder deutlicher und heller sehen.

Höchst wahrscheinlich hat Mersenne selbst den hier gemachten Vorschlag nicht ausgeführt. Er würde sonst den Spiegeln eine richtigere Stellung angewiesen, er würde sich überzeugt haben, daſs zur Erreichung des gewünschten Zweckes wenigstens noch ein Glas fehle, er würde selbst die Helligkeit der Bilder nicht nach derselben Regel, wie ihre Vergröſserung, berechnet haben. Mersenne scheint besonders durch mehrere Einwürfe, die Descartes gegen seinen Vorschlag machte [1]), von der weiteren Verfolgung seines Gedankens abgehalten zu sein. Weil man das Auge nicht nahe genug an den kleineren Spiegel bringen könnte, die Länge eines solchen Instrumentes der eines dioptrischen Fernrohres gleich kommen müſste, die Verfertigung der parabolischen Spiegel sehr schwierig sein würde, endlich auch nicht weniger Licht durch die Reflexion, als durch die Refraktion verloren gehe, so versprach sich Descartes wenig von dem durch Mersenne gemachten Vorschlage. Da in dem Briefe, in welchem Descartes diese Einwürfe macht, das Datum fehlt, so läſst sich die Zeit, in welcher Mersenne jenen Gedanken faſste, nicht genau angeben; doch geht aus dem Zusammenhange

1) *Epistolarum pars II*, epist. 29. in der Frankfurter Ausgabe.

dieses Briefes mit den übrigen hervor, dafs er in den Jahren 1638. oder 1639. geschrieben sein möge.

Im Jahre 1663. entwarf Jakob Gregory eine bessere Konstruktion des Spiegel-Teleskopes [1]), ohne, wie es scheint, den bereits von Mersenne gemachten Vorschlag zu kennen. Man habe bis auf ihn nur zwei optische Instrumente von aufserordentlicher Wirkung, das Teleskop für entfernte Gegenstände, und das Mikroskop für nahe gekannt; er aber finde, dafs das Teleskop, abgesehen von der Anzahl und Beschaffenheit der Gläser, dreierlei Art sein, entweder blofs Gläser, oder blofs Spiegel, oder beides zugleich, Spiegel und Gläser, enthalten könne. Die erste Art habe die Eigenthümlichkeit, dafs man beliebig viele Linsen wählen, und das Bild beliebig vergröfsern könne; sie habe aber auch den Nachtheil, dafs das Instrument, bei der Anwendung vieler Linsen, eine unbequeme Länge erhalte, und dafs die Helligkeit durch zu viele Gläser zu sehr geschwächt werde. Bei der zweiten Art kämen zwar diese Uebelstände nicht vor, man könne aber kaum mehr, als zwei Spiegel anwenden. Die dritte aber und vorzüglichste Art von Teleskopen (*tertium genus aureum*) vereinige alle Vorzüge der übrigen Instrumente in sich, ohne einen ihrer Nachtheile zu haben, wenn man nur das letzte und vorletzte Bild (vom Auge an gerechnet) durch Spiegel, die übrigen aber durch Linsen entstehen liefse. Gregory beschreibt nun, des Beispiels wegen, eins dieser vollkommensten Teleskope. Man solle einem parabolischen Spiegel gegenüber einen viel kleineren elliptischen Hohlspiegel so aufstellen, dafs beide eine gemeinschaftliche Achse haben, und der eine Brennpunkt

1) *Optica promota*, 1663., pag. 92. sqq.

des elliptischen mit dem Brennpunkte des parabolischen Spiegels zusammen fällt, der andere aber hinter dem parabolischen, dem man in der Gegend des Scheitels eine Oeffnung gegeben hat, liegt. An diese Oeffnung solle man eine Röhre, welche dieselbe Achse mit den Spiegeln hat, und weit genug ist, um die vom elliptischen reflektirten Stralen aufnehmen zu können, befestigen, und an dem Ende der Röhre eine plankonvexe Linse, mit der konvexen Seite gegen die Spiegel gekehrt, so anbringen, dafs ihr vorderer Brennpunkt in den, hinter dem parabolischen Spiegel liegenden, Brennpunkt des elliptischen, und ihre Achse in die der Röhre fällt. Ein so eingerichtetes Instrument werde Weitsichtigen treffliche Dienste leisten[1]); entfernte Gegenstände würden ihnen beinahe im Verhältnisse der Entfernungen der Spiegelscheitel von ihrem gemeinschaftlichen Brennpunkte vergröfsert, und sehr deutlich erscheinen, die Helligkeit aber werde beinahe der des unbewaffneten Auges gleich kommen, wenn nur der Durchmesser des parabolischen Spiegels grofs genug ist, um dem Auge die erforderliche Lichtstärke zu geben.

Eine Stelle, die bald hernach folgt, wo Gregory sagt, er selbst sei zu unerfahren in der Mechanik, um Vorkehrungen zum Schleifen solcher parabolischen Spiegel oder nach Kegelschnitten gekrümmter Gläser, wie sie zu diesem reflektirenden Teleskope durchaus nöthig sein, angeben zu können, versichere jedoch, dafs man vergebens von sphärischen Spiegeln und Gläsern vollkommenere optische Instrumente erwarten dürfe, so wie der beschränkte Gebrauch, den er dem

1) *Erit haec fabrica telescopium opticum, presbytis destinatum.*

Teleskope nur für Weitsichtige anweiset, zeugen offenbar, dafs er dasselbe nicht aus der Erfahrung beschreibe, und dafs daher auch bei den Spiegel-Teleskopen die Theorie der Praxis vorangeeilt sei, wie wir dies schon von den beiden, von Kepler angegebenen, dioptrischen Fernröhren wissen.

Ohne Zweifel würde Gregory ans Ziel gelangt sein, wenn er nicht von dem Wahne, es sein durchaus parabolische und elliptische Spiegel erforderlich, befangen gewesen wäre. Sein Vorschlag wurde erst eilf Jahre später durch Hooke, der sich sphärischer Spiegel bediente, ausgeführt, nachdem Newton, welchem die von Gregory angegebene Einrichtung bekannt war, schon im Jahre 1668. ein kleines, etwas anders konstruirtes Teleskop, bei dem statt des elliptischen Spiegels ein ebener genommen, und die Röhre mit der Linse an der Seite des Rohres befindlich war, und noch in demselben Jahre ein zweites vollkommeneres nach derselben Einrichtung zu Stande gebracht hatte. Ich werde auf diesen Gegenstand bei Newton zurückkommen.

Joannes Marcus Marci.

Geb. 1595., gest. 1667.

Er deutet die Principien an, auf denen die Newtonsche Farbentheorie beruht.

Bis auf Descartes finden wir die Aristotelische Farbenlehre, welche das Mehr oder Weniger von Weifs und Schwarz, von Licht und Schatten, für die alleinige Ursache der verschiedenen Farben hält, wenig verändert. Höchstens hatte man in eben so

weitschweifigen, als langweiligen Abhandlungen über die Frage gestritten, ob die Farbe nach der Meinung des **Empedokles** ein materieller Ausflufs (aus den Augen), oder ob sie, wie die **Peripatetische** Schule behauptet hatte, eine den gefärbten Körpern inhärirende Eigenschaft (*qualitas inhaerens*) sei, die sich zwar nur im Lichte offenbare, zu deren Erzeugung aber das Licht nichts beitrage. Auch **Antonius de Dominis**, der um die Theorie des Regenbogens so erhebliche Verdienste hat, weicht in seiner Erklärung der Farben nicht wesentlich von **Aristoteles** ab. Das rothe Licht soll durch die erste Beimischung des Dunkelen zum Weifsen, so dafs der Glanz des letzteren nur wenig getrübt wird, das grüne durch eine stärkere, das blaue durch eine noch stärkere bewirkt werden. Endlich wagt es **Descartes**, die **Aristotelische** Lehre zu verlassen. Er vermuthet eine Aehnlichkeit zwischen der Verschiedenheit der Farben, und der der Töne, und spricht die Meinung aus, dafs die Farben durch eine verschiedene Geschwindigkeit der Lichttheilchen, durch einen mehr oder weniger starken Anstofs derselben gegen die Netzhaut entstehen mögten, auf ähnliche Weise, wie das Ohr mannigfache Töne blofs durch die verschiedene Geschwindigkeit der Luftschwingungen unterscheidet. Seine Ansicht findet aber wenig Anklang, da es freilich der feinsten Beobachtungen, und des vollendetsten Kalkuls bedurfte, um diesem, sich der sinnlichen Wahrnehmung ganz entziehenden, Gedanken den Grad von Wahrscheinlichkeit zu geben, den er in unseren Tagen erlangt hat.

Diesen Standpunkt nahm die Farbenlehre in der Mitte des siebzehnten Jahrhunderts ein, als man anfing, die bisher gangbaren Ansichten über die Ent-

stehung der Farben aufzugeben, und jenes System vorzubereiten, das wir bei Newton auf dem Gipfel seiner Vollendung finden, während unterdefs die Lehre einiger Chemiker jener Zeit, nach welcher der Schwefel, oder Salze oder wohl gar Quecksilber, die allen Körpern beigemischt sein sollten, das Princip der Farben sind, verdienterweise keiner Beachtung gewürdigt wurde. Einer der ersten, bei denen wir Andeutungen zur Newtonschen Farbenlehre finden, ist der in der Ueberschrift genannte Marcus Marci. An ihn schliefsen sich de la Chambre, Isaak Vossius, Grimaldi und Boyle an.

Joannes Marcus Marci, geboren zu Landskron in Böhmen, war Professor der Medicin an der Universität von Prag, und gehörte zu den gelehrtesten Männern seiner Zeit. Nächst der Medicin widmete er seinen Eifer besonders den Naturwissenschaften, deren Gebiete ihm durch seine gründliche Kenntnifs der alten Sprachen, selbst der orientalischen, zugänglich waren. Er fand sich aber durch die Leistungen seiner Vorgänger so wenig befriedigt, dafs er sich zu einer Abhandlung von bedeutendem Umfange, die blofs von den prismatischen Farben und vom Regenbogen handelt [1]), veranlafst fühlte.

Schon in dieser Abhandlung finden wir die Principien, auf welche die Newtonsche Farbentheorie gegründet ist, angedeutet, wenn gleich einige dieser Andeutungen noch ziemlich unklar und unbestimmt sind. Nachdem Marci gegen Kepler geleugnet hat, dafs die apparenten Farben nur an der Grenze des

1) *Thaumantias. Liber de arcu coelesti deque colorum apparentium natura. Authore Joanne Marco Marci. Pragae*, 1648. 4to. 268 Seiten.

Lichtes und Schattens entstehen [1]), räth er vielmehr, um zu richtigeren Begriffen zu gelangen, das prismatische Bild, welches er *iris trigonia* nennt, in einem verfinsterten Zimmer zu beobachten [2]). Er behauptet, dafs das gefärbte Licht bei dem Austritte aus dem Prisma mehr divergire [3]); dafs das einmal farbig gewordene Licht nach allen folgenden Brechungen wieder dieselbe Farbe zeige [4]); ja er verfolgt selbst den Gedanken an eine verschiedene Brechbarkeit des Lichtes durch das ganze Buch: überall überzeugt man sich aber aus seinen Beweisen, dafs ihm diese Eigenschaft der Farben nicht eine, von der Erfahrung gegebene, Thatsache ist. Er glaubt sich vielmehr defshalb, weil alles, was eine adstringirende Kraft hat, wie Galläpfel, Alaun, zu einem Pigmente gemischt, die Atome desselben näher bringt, und sie intensiver macht, zu

1) Pag. 84.

2) Brandes sagt in der neuen Ausgabe des Gehlerschen Wörterbuches unter dem Artikel Prisma, dafs er, ungeachtet er einen bedeutenden Theil des *Thaumantias* gelesen habe, die Behauptung Montucla's, schon Marci hätte die Versuche mit dem Prisma in einem finsteren Zimmer angestellt, nicht bestätigt gefunden habe. Von einem schattigen und dunkelen Orte, an welchem man das prismatische Spektrum beobachten müsse, spricht Marci (pag. 95.) allerdings, und zwar mit folgenden Worten: „*Colores iridis non nisi in locis umbrosis et opacis apparent, quo nimirum lux primaria non coincidit, quae huic simulachro colorato est prorsus inimica. Ab ea enim, seu speculo seu alio modo in locum iridis reflexa, colores protinus exsolvuntur.*"

3) Pag. 21. *Radii colorati in egressu trigoni magis divergunt.*

4) Pag. 100. *Refractio, superveniens radio colorato, non mutat speciem coloris. Constitue enim pilam crystallinam medio inter visum et trigonum loco, lumenque candelae una cum coloribus eversum spectabis, nulla in his facta mutatione. Idem enim color coccineus apicem flammae, hyacinthinus radicem tingit.... neque per tertium prisma huiusmodi colorum species translocatae permutantur.*

der Folgerung berechtigt, dafs jede Farbe durch Kondensation in eine andere verwandelt werden könne. Da er nun das Sonnenlicht für eine Farbe hält, dieses aber beim Uebergange aus einem dünneren Mittel in ein dichteres auf einen kleineren Brechungswinkel beschränkt wird, so folgert er eben hieraus, dafs verschiedene Brechungen des Lichtes verschiedene Farben bewirken müfsten (*diversae lucis refractiones causant diversos colores*).

Wenn aber auch wirklich schon vor Newton alle Grundsätze seiner Farbenlehre ausgesprochen waren, wie sich dies bei Grimaldi und Boyle noch deutlicher zeigen wird, so blieb doch gerade der Hauptsatz jener Lehre, der von der verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes, ein Resultat der Spekulation, mit welchem man keinen klaren Begriff verband; wefshalb denn auch keine, die apparenten Farben betreffende, Erscheinung vor Newton befriedigend erklärt werden konnte.

Auch die subjektive [1]) prismatische Farbenerscheinung beschreibt Marci, besonders daran erinnernd, dafs etwas Helleres auf einem dunkeleren Grunde betrachtet, oben einen gelbrothen, unten einen blauen, umgekehrt aber etwas Dunkeleres auf einem helleren Grunde oben einen blauen, unten einen gelbrothen Saum zeige.

Marci bemerkt auch [2]), dafs man zugleich mehr, als zwei Regenbogen sehen könne; er ist aber in der

1) Ich nehme dies Wort in der von Göthe in die Optik eingeführten Bedeutung. Unter der subjektiven prismatischen Farbenerscheinung sind die Farben zu verstehen, die sich, wenn das Prisma vor die Augen gebracht wird, zeigen; unter der objektiven, wenn man das Spektrum auf eine weifse Ebene fallen läfst.

2) Pag. 216.

Auseinandersetzung dieser Behauptung sehr unklar, so wie im Allgemeinen die ganze Schrift, in welcher oft der Leser selbst, die Ansichten des Verfassers und früherer Optiker widerlegend, eingeführt wird, durch ihre Weitschweifigkeit abschreckt. Unter vielen angeführten Autoritäten kommt, so viel ich finde, Descartes nicht vor, dessen Abhandlung über die Meteore, in der die Theorie des Regenbogens bereits zu einer viel gröſseren Klarheit erhoben war, Marci gar nicht gekannt zu haben scheint.

Isaak Vossius.

Geb. 1618., gest. 1689.

Isaak Vossius, zu der berühmten Holländischen Gelehrten-Familie gehörig, verdankte die Auszeichnungen, die ihm zu Theil wurden, mehr seinen Leistungen auf dem Gebiete der theologischen und philologischen Kritik, als auf dem der Naturwissenschaften. Sein Aufenthalt an dem Hofe der Königinn Christine von Schweden war nur von kurzer Dauer; er ging, auch von Ludwig XIV. durch ein huldvolles Sendschreiben und durch Geschenke geehrt, nach England, wo er in Windsor bis zur Würde eines Kanonikus stieg.

Wir kennen schon seine Abhandlung *De lucis natura et proprietate* [1]) im Betreff der Aufschlüsse, welche sie über die Entdeckung des Brechungsgesezzes giebt. Vossius tritt hierin aber auch als Begründer einer neuen Farbenlehre auf, deren Werth man indeſs schon daraus beurtheilen kann, daſs er den Schwefel, der allen Körpern beigemischt sein

1) *Amstel.*, 1662. kl. 4to. 85 Seiten.

soll, als den Stoff der Farben, und als die Ursache ihrer Verschiedenheit das verschiedene Verbrennen dieses Stoffes ansieht. Der einzige, der Beachtung werthe Gedanke, den er hier äufsert, ist der, dafs die Farben Bestandtheile des Lichtes sein dürften [1]). Er wird aber zu dieser Behauptung nicht etwa durch eine Experimental-Untersuchung, wie Newton, geleitet, sondern vielmehr durch folgende Schlüsse: „So wie die Farbe des Schwefels in der brennbaren Materie ist, so ist auch die Farbe der Flamme. Wie aber die Flamme ist, so ist auch das Licht, welches sie verbreitet. Da aber die Flamme alle Farben enthält, so mufs dies auch dem Lichte eigen sein" [2]).

1) De la Chambre hatte schon fünf Jahre früher in der Schrift *La lumière. Paris*, 1657. dasselbe behauptet.

2) Einen anderen Beitrag zur Beurtheilung des Zustandes, in welchem sich die Farbenlehre kurz vor Newton befand, liefert auch Isaak Barrow, den wir schon als den ersten Berechner der Vereinigungsweiten der Linsen kennen, in seinen *Lectionibus opticis. Londini*, 1674., pag. 85. Es heifst hier:

Album est, quod lucem copiosam, pariter ubique spissam, circumfundit. Talia ferme sunt corpora, rarioribus poris interpuncta; praesertim, quae multas superficieculas, in omne latus obversas, habent.

Nigrum est, quod lucem minime vel parcissime refundit. Talia plerumque sunt corpora valde pellucida, nec non quae crebros meatus et cavernulas, lucem absorbentes, habent.

Rubrum est, quod lucem effundit hinc inde confertam, ac solito magis constipatam, ast interstitiis umbrosis interruptam. Talia concipi possunt corpora, multas inter se quasi fornaculas et focos habentia. Ad rubri naturam fortasse pertinet, quod compressa lux languidius emicat.

Coeruleum est, quod lucem raram, aut impetu segniore concitatam emittit. Talia videntur esse corpora, quae particulis constant albis ac atris, alternatim dispositis; sed et hunc subinde colorem ostentant candida, malignius illustrata.

Viride coeruleo perquam agnatum est.

Caeterum reliqua colorata ex istis varie commixtis et contemperatis emergunt.

Die genannte Abhandlung ist meist polemischen Inhaltes, besonders gegen Descartes's Hypothesen über die Elemente der Körper und ihre Wirbel, und über die Natur des Lichtes gerichtet. Sie verwickelte den Vossius in einen Streit mit der Cartesianischen Schule, der öffentlich geführt wurde, und mehrere Gegenschriften veranlaſste. Auch die von Alhazen entlehnte Erklärung, die Descartes über die Vergröſserung der Gestirne am Horizonte giebt, wird eben so, wie die freilich ganz unhaltbare Hypothese Gassendi's, bestritten. Im Betreff der ersteren hält es Vossius für ungereimt, anzunehmen, daſs jedes Auge auf gleiche Weise, bloſs durch den Einfluſs der Phantasie, des Morgens und Abends die Gestirne grösser, als des Mittags, sehen solle; die Erklärung Gassendi's aber, daſs sich deſshalb das Bild der Sonne und der übrigen Sterne beim Auf- und Untergange gröſser zeige, weil die Pupille bei dem schwächeren Lichte der Dämmerung oder der Nacht erweitert ist[1]), findet er durch die Versuche in der *Camera obscura* keinesweges bestätigt. Vossius ist vielmehr der Meinung, daſs die Gestirne deſshalb, weil man sie am Horizonte durch eine gröſsere Luftmasse sieht, gröſser erscheinen; ein Grund, der, in dieser Weise hingestellt, nicht geeignet ist, die Frage zu erledigen, wie dies schon Alhazen gezeigt hat.

So unbedeutend Gassendi's Verdienste um die Fortschritte der Optik auch sein mögen, so machte er zuerst doch auf eine Erscheinung aufmerksam, die nur einem sehr vorsichtigen Beobachter nicht entgehen konnte, deren wahren Grund er aber nicht ent-

1) *Gassendi opera. Florentiae*, 1658., tom. III, pag. 386. Eben diese Ansicht theilt auch Dechales, *Cursus mathem.*, vol. III, pag. 762.

deckte [1]). Beim Messen des Sonnendurchmessers bediente er sich auch einer Vorrichtung, die aus einem längeren Brette (Fig. 46.) *AB*, und zwei an dessen Enden senkrecht stehenden kürzeren bestand. Dem Brette *AB* hatte er die Länge von 24 Pariser Fufs, jedem der beiden kürzeren die von einem halben Fufse gegeben. Wenn er nun diese Vorrichtung so gegen die Sonne hielt, dafs die Erweiterung von *AB* den unteren Rand der Sonne in *E* berührte, so fand er den Schatten *BH* des Brettes *AC* auf *BD* nicht für jede Höhe der Sonne von gleicher Länge. Bei der Höhe von 3° und der von 15° zeigte sich ein Unterschied von 1.2 Linien. Der Grund dieser richtigen Bemerkung liegt aber, wie man sieht, in der bei verschiedenen Höhen der Sonne verschiedenen atmosphärischen Refraktion. Setzt man die Länge des unteren Brettes $= m$, die des Brettes $AC = n$, die Höhe BH des Schattens $= x$, und den sichtbaren Durchmesser BGH der Sonne $= \varphi$, so ist:

$$x = n - m . \tan \varphi.$$

Da nun der Durchmesser der Sonne von 32′ in der Höhe von 3° um 1′ 42″, in der von 15° aber um 6″ nach Bradley's Tafeln durch die atmosphärische Refraktion verkürzt wird, so ergiebt sich für jene Höhe: $x =$ 3 Zoll, 5.5 Linien, und für diese: $x =$ 3 Zoll, 3.9 Linien, also beinahe dieselbe Differenz, welche Gassendi gemessen hatte.

1) *Gassendi opera*, tom. III, pag. 386. et 388. Gassendi starb als Professor der Mathematik an dem *Collège royal* in Paris im Jahre 1655. Die Philosophie Descartes's, und besonders seine Lehre über die Natur und Fortpflanzung des Lichtes, griff er mit solchem Erfolge an, dafs man damals die streitenden Parteien in Cartesianer und Gassendisten theilte.

Franciscus Maria Grimaldi.

Geb. 1613., gest. 1663.

Er macht auf die unter dem Namen der Beugung bekannte Eigenschaft des Lichtes aufmerksam, die er aus einer wellenförmigen Bewegung desselben erklären zu können glaubt — Die Farben hält er für Bestandtheile des farblosen Lichtes, nicht aber für eine, den Körpern selbst von Natur inwohnende Eigenschaft — Die Ursache der permanenten Farben sucht er in einer, den Oberflächen der Körper eigenthümlichen, Beschaffenheit, gerade den Bestandtheil des Lichtes, in welchem sie sich uns zeigen, zum Auge zu reflektiren.

Grimaldi, Professor der Mathematik in Bologna, dem Jesuiten-Orden angehörig, wird von seinen Zeitgenossen eben so seiner Gelehrsamkeit, wie seiner Charaktermilde und Bescheidenheit wegen gerühmt. „*Vixit inter nos sine querela*" war das kurze, aber vielsagende Zeugnifs, das seine Ordensbrüder bei seinem Sarge aussprachen. Von dieser Bescheidenheit zeugt auch das Werk [1]), das allein seinen Namen der Nachwelt überliefert hat. Er selbst konnte sich zur Veröffentlichung desselben nicht entschliefsen, ungeachtet er das Bewufstsein in sich tragen mufste, sorgfältigere Beobachtungen über das Licht, als irgend einer seiner Vorgänger, gemacht zu haben. Erst zwei Jahre nach seinem Tode wurde das völlig ausgearbeitete Manuscript gedruckt. Leider findet man aber auch hier dieselbe Unklarheit, Breite und Weitschweifigkeit wieder, durch welche das Lesen aller von den Jesuiten verfafsten optischen Werke verkümmert wird.

Grimaldi offenbart eigentlich nicht die Absicht, den über die Frage, ob das Licht eine Substanz oder

1) *Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride. Bononiae*, 1665. 4to. 535 Seiten.

ein Accidens sei, so lange schon geführten Streit bestimmt zu entscheiden; er stellt vielmehr alles, was sich für die eine, oder die andere Ansicht sagen liefse, zusammen, und läfst uns über sein eigenes Urtheil in Ungewifsheit [1]). Sechszig Propositionen, die im ersten Buche vorgetragen werden, sollen mehr für die Substantialität des Lichtes sprechen; diesen werden im zweiten Buche nur sechs Propositionen entgegengestellt, die der Accidentalität des Lichtes günstiger sein sollen.

Das Bemerkenswertheste des ganzen Werkes, die Beschreibung der Versuche, aus denen Grimaldi schliefst, dafs das Licht nicht blofs geradlinig, reflektirt und gebrochen ins Auge kommen, sondern dafs es auch noch eine vierte Art der Bewegung annehmen könne, die er Diffraktion nennt, kommt im Anfange des ersten Buches vor. Bei der Wichtigkeit des Gegenstandes will ich die eigenen Worte des Verfassers anführen:

„Wenn man durch eine sehr kleine Oeffnung (Fig. 47.) *AB* in ein sonst dunkeles Zimmer das Sonnenlicht bei heiterem Himmel einfallen läfst, in den Kegel, in den es sich ausbreitet, einen undurchsichtigen Gegenstand *EF* bringt, und das Licht zugleich mit dem Schatten *GH* dieses Gegenstandes mit einer weifsen, auf dem Fufsboden ausgebreiteten Ebene auffängt, so wird man finden, dafs, wenn auch der Schatten *GH* zu beiden Seiten einen Halbschatten *GI* und *HL* neben sich haben mufs, der ganze Schatten dennoch bedeutend gröfser ist, als er es unter der Annahme, dafs sich das Licht durch die Oeffnung gerad-

1) In der Vorrede wird das Licht ein *accidens subjectabile in corporibus diaphanis* genannt. In anderen Stellen neigt er sich mehr zu der Ansicht, dafs das Licht eine Substanz sei.

linig fortpflanzt, sein sollte, wie ich mich hiervon durch wiederholte Beobachtungen und Rechnungen überzeugt habe. Statt des, aus den Durchmessern von *AB* und *EF*, den Entfernungen *BE* und *BI*, und den übrigen Bestimmungsstücken berechneten, Schattens *IL* sieht man den gröfseren *MN*."

„Auf den Theilen *MC* und *ND* der stark erleuchteten Grundfläche lassen sich überdies gewisse Streifen (*tractus seu series*) eines gefärbten Lichtes unterscheiden, so dafs in der Mitte eines jeden Streifen zwar ein sehr reines Licht, an den Rändern aber eine Farbe sichtbar wird, nämlich die blaue nach *M* und *N*, die rothe nach *C* und *D* hin. Die breitesten unter diesen Streifen sind die an *M* und *N* zunächst gelegenen; schmaler ist der zweite, und noch schmaler der dritte (nie aber gelang es, mehr als drei zu sehen), indem zugleich die Intension des Lichtes und der Farben in derselben Ordnung in ihnen abnimmt, in welcher sie sich mehr von dem Schatten entfernen. Doch werden die einzelnen Streifen desto breiter, je entfernter sie hinter dem dunkelen Körper, welcher den Schatten wirft, aufgefangen werden, und je schräger man die auffangende Ebene gegen das einfallende Licht hält."

„Die erwähnten Streifen sind mit dem Schatten des dunkelen Körpers parallel, also gerade, wenn die Grenze des in den hellen Kegel hineingeschobenen Körpers gerade ist, und krumm, wenn sie krumm ist. Wenn aber der Körper Winkel hat, und daher der von der weifsen Ebene aufgefangene Schatten auf gleiche Weise winkelig ist: dann sind jene Streifen zwar gerade, so weit die geraden Seiten des Schattens fortlaufen, aber um den Schattenwinkel selbst, den das Licht auf beiden Seiten von aufsen umgiebt,

krümmen sie sich in ähnlichen Bogen. Stellt z. B. (Fig. 48.) *ABC* den Schatten vor, der bei *B* und *C* winkelig ist, so sind zwar die farbigen und weifsen Streifen, so weit sie sich von *A* und *G* bis *B* und *E* erstrecken, der Seite *AB* des Schattens parallel, und eben so die Streifen, die von *C* und *H* anfangen, und sich bis *B* und *F* hinziehen, der Seite *CB* des Schattens parallel; aber um den schattigen Winkel *ABC* herum gehen sie nicht geradlinig fort, sondern sie krümmen sich in unter einander ähnlicher Krümmung. Bei dem Winkel *BCH* jedoch, in dessen Fläche sich Licht befindet, durchschneiden sich jene Streifen geradlinig, so dafs die Intension der Farben beim Zusammentreffen entweder erhöht wird, oder dafs sie sich unter einander vermischen, wie dies alles in der Figur angedeutet ist."

„Bei sehr lebhaftem Sonnenlichte sahe ich die farbigen Streifen in dem Schatten selbst [1]) bald in gröfserer, bald in geringerer Zahl entstehen. Hierzu aber, so wie überhaupt zu diesen Versuchen, darf der Gegenstand (Fig. 47.) *EF* zwar lang, aber nur mäfsig breit, jedoch nicht von zu kleiner Breite sein. Denn wollte man ein Haar, oder einen Faden von der Dicke einer Nadel anwenden, so würde sich in den Schatten eines solchen Gegenstandes zu viel Licht mischen, und denselben in der Entfernung, in welcher er, wenn farbige Streifen entstehen sollen, aufgefangen werden mufs, unkenntlich machen. Man wende daher lieber Platten von verschiedener Breite an, und wähle unter ihnen diejenige, deren Schatten, in der erforderlichen Entfernung aufgefangen, die farbigen Streifen erkennen läfst."

1) Also durch Licht, das hinter dem dunkelen Körper einwärts gebogen wird.

„Die Zahl der in dem Schatten erscheinenden Streifen wird, unter sonst gleichen Umständen, um so gröſser sein, je breiter die Platte ist; es werden ihrer wenigstens zwei, und, wenn eine stärkere Platte angewendet wird, vier sein. Und so werden, nach Verhältniſs der Dicke und Breite des Gegenstandes *EF*, der aber an beiden Seiten erleuchtet sein muſs, mehrere Streifen, nämlich sechs, entstehen; immer aber in gerader Zahl, weil das eine Ende der Platte eben so viele Streifen, wie das andere, erzeugt. Aber selbst bei einer und derselben Platte können mehr oder weniger Streifen sichtbar werden, je nachdem sie entfernter oder näher hinter derselben aufgefangen werden. Sie sind um so breiter, je kleiner ihre Anzahl ist, und um so schmaler, je mehrere vorhanden sind."

„Die im Schatten sichtbaren Streifen behalten zwar auch den Parallelismus mit den Rändern des Schattens bei, und sind gerade, wenn jene es sind, und gekrümmt da, wo der Schatten einen Winkel hat; aber es erscheinen überdies bei einem solchen Winkel andere kürzere glänzende Streifen über dem Schatten, die gleichfalls gekrümmt sind, und Federbüschen ähnlich, die, nachdem sie sich gerade erhoben haben, zu beiden Seiten herabhängen [1])."

Grimaldi führt noch einen anderen Versuch an, um es auſser Zweifel zu setzen, daſs jene farbigen Streifen weder durch Reflexion, noch durch Refraktion entstehen:

„In die Oeffnung eines Fensterladens bringe man eine undurchsichtige Platte (Fig. 49.) *AB*, und lasse durch eine sehr kleine Oeffnung *CD* in derselben in das sonst völlig dunkele Zimmer Sonnenlicht fallen,

1) *Sed instar cristarum, quae in galero post aliquam ipsarum elevationem pendent ad utramque partem.*

das sich in Gestalt eines Kegels ausbreiten wird. Diesen durchschneide man, rechtwinkelig gegen die Achse, mit einer anderen Platte *EF*, die gleichfalls eine kleine Oeffnung *GH* hat, an einer Stelle, wo der Durchschnitt des Kegels gröfser ist, als diese Oeffnung, so dafs sie ganz mit Licht erfüllt wird. Dieses Licht nun, welches durch die zweite Oeffnung hindurchgegangen ist, und gleichfalls die Gestalt eines Kegels annimmt, zeigt mit einer weifsen, auf der Achse des Kegels winkelrecht stehenden, Ebene aufgefangen, nicht etwa die Grundfläche *NO*, wie es die geradlinige Bewegung des Lichtes erfordert, sondern eine merklich gröfsere *MK*, wie ich mich öfter hiervon überzeugt habe."

Diese Versuche sind es, die den Grimaldi bestimmen, dem Lichte eine wellenförmige Bewegung beizulegen. „So wie sich", sagt er, „wenn man einen Stein ins Wasser wirft, um diesen, wie um einen Mittelpunkt, kreisförmige Erhöhungen des Wassers bilden, gerade so entstehen um den Schatten des undurchsichtigen Gegenstandes (Fig. 47.) *EF* jene glänzenden (sich in weifsem Lichte zeigenden) Streifen, die sich, nach Verschiedenheit der Gestalt des letzteren, entweder in die Länge ausbreiten, oder gekrümmt erscheinen. Und so wie jene kreisförmigen Wellen nichts anderes sind, als angehäuftes Wasser, um welches sich auf beiden Seiten eine Furche hinzieht, so sind auch die glänzenden Streifen nichts anderes, als das Licht selbst, das durch eine heftige Zerstreuung ungleichmäfsig vertheilt, und durch schattige Intervalle getrennt wird [1]). So wie endlich die kreisförmigen Wasserwellen breiter werden, wenn sie sich mehr von

1) *Series lucidae sunt ipsum lumen, violenta diffusione inaequaliter distributum, et umbrosis intervallis distinctum.* Pag. 18.

dem Quelle ihrer Erregung entfernen; eben so bemerken wir dasselbe an den glänzenden Streifen, je weiter sie von dem Anfange ihrer Erregung abstehen. Dieser Anfang aber ist die Diffraktion und das Anstofsen des Lichtstoffes sowohl bei dem Eintritte in die kleine Oeffnung des Fensterladens, als auch besonders an den Enden des undurchsichtigen Gegenstandes, der in den Lichtkegel gebracht wird."

Als die Ursache der Farben sieht Grimaldi eine gewisse innere Modifikation des Lichtes an, die wahrscheinlich in einer Aenderung der Art und Geschwindigkeit der Bewegung bestehe, so dafs die Verschiedenheit der Farben eben so durch Erzitterungen des Lichtstoffes, die mit ungleicher Geschwindigkeit den Sinn des Gesichtes afficiren, bewirkt wird, wie die der Töne durch Luftschwingungen von ungleicher Geschwindigkeit. So zeigen fein gestreifte Flächen, die Fäden der Spinnengewebe, die Federn gewisser Vögel, aus vielfarbigen Fäden gewebte Kleider, verschiedene Farben, je nachdem sich bald diese, bald jene Seite dieser feinen Streifen dem Auge darbietet, und das Licht in einer solchen Undulation zurückwirft, wie sie zu jeder Farbe erfordert wird [1]). Die Ursache der permanenten Farben liege wahrscheinlich in dem inneren Gefüge farbiger Stoffe, in der Lage der Poren, damit gerade die Farbe, welche der Körper zeigt, reflektirt werde [2]).

Ungeachtet schon aus allem diesen hervorgeht, dafs Grimaldi die Farben für Bestandtheile des farblosen Lichtes angesehen wissen wolle, so spricht er sich hierüber doch noch bestimmter im zweiten Buche

1) Prop. 29.
2) Prop. 42.

aus, wo er wiederholentlich erklärt, dafs, wenn auch das Licht ein Accidens sein sollte, die Farben doch nicht etwas vom Lichte Verschiedenes sind, das in den gefärbten Körpern, nach Auslöschung desselben, zurückbleibe, dafs vielmehr alle Farben, die apparenten sowohl, als auch permanenten, nicht für etwas aufserhalb des Lichtes, oder von der Wesenheit desselben reell Verschiedenes gehalten werden dürfen [1]).

Robert Boyle.

Geb. 1627., gest. 1691.

Die Farbe ist nicht eine den Körpern, die man gefärbt nennt, von Natur inwohnende Qualität, sie ist vielmehr das Licht selbst, das an der Oberfläche jener Körper dahin modificirt wird, im Auge die Empfindung, welche eine Farbe heifst, hervorzubringen, sie ist eine Qualität des Lichtes.

Robert Boyle, Sohn des Grafen Richard von Kork, war durch das von seinem Vater ererbte Vermögen in den Stand gesetzt, seiner Neigung zu den Naturwissenschaften, und besonders zur Chemie, sich ungehemmt hingeben zu können. Sein wissenschaftlicher Eifer fand um so mehr Aufmunterung, da im Jahre 1662., also gerade in der Blüthe seines Lebens, die Societät der Wissenschaften in London ihre Statuten, und den Namen einer Königlichen von Karl II. erhielt, und sich der besonderen Gunst dieses Fürsten erfreuete. Boyle ist eins der ersten Mitglieder dieser Societät, deren Ruhm durch ihn, so wie durch Hooke und Newton, begründet wurde. Von Natur zum Schwermuthe geneigt, suchte er Trost in den

1) *Non sunt aliquid extra lumen, seu realiter distinctum a luminis entitate.*

heiligen Schriften, die er in den Ursprachen studirte. Mehrere theologische Werke, und die Gründung ansehnlicher Stiftungen zur Befestigung und Verbreitung des Christenthums, waren die Frucht dieser Studien. Die von seinen Zeitgenossen gerühmte grofse Bescheidenheit seines Charakters im geselligen Umgange spricht sich auch in jeder Zeile seiner Schriften aus.

Das Werk, von dem allein hier die Rede sein kann, sind seine *Experimenta et considerationes de coloribus*, die zuerst in Englischer Sprache im Jahre 1663. erschienen, also drei Jahre früher, als Newton seine Analyse des Lichtes der Societät bekannt machte. Die Abhandlungen sind in der Form von Briefen an einen Freund, dem der Name Pyrophilus gegeben wird, geschrieben, um ihnen desto besser das Gewand von freundschaftlichen Mittheilungen anpassen zu können, da Boyle'n die Farbenlehre viel zu wenig erforscht schien, als dafs er sie in wissenschaftlicher Form vortragen dürfte.

Dafs eine Verschiedenheit der Farbe bei einem und demselben Körper mit einem verschiedenen Gefüge der Atome zusammenhänge, und dafs das Licht besonders an der Oberfläche der Körper, welche wir gefärbt nennen, disponirt werde, den Eindruck dieser oder jener Farbe auf das Auge zu machen, dies scheint Boyle'n aus mehreren Thatsachen hervorzugehen. Wenn man eine dünne Stange Stahl in glühenden Kohlen erhitzt hat, ihn aber nicht sogleich, wenn man ihn aus dem Feuer nimmt, in kaltes Wasser steckt, sondern ihn erst über einem Wasserbecken bis zu dem Augenblicke hält, wo er zum Rothglühen übergeht, und ihn dann in kaltem Wasser löscht, so zeigt der so gehärtete Stahl eine ins Weifse spie-

lende Farbe. Polirt man ihn hierauf an dem einen Ende, und hält dies zum Theil in die Flamme einer Leuchte, so sieht man bald nachher den aufserhalb der Flamme liegenden Theil, der einen halben Zoll und noch mehr betragen kann, sehr schnell von einer Farbe zur anderen übergehen, vom Hellgelben zum mehr gesättigten Gelben und Rothen, und dann vom Hellblauen zu einem tieferen Blau. Löscht man den Stahl, wenn er die gelbe Farbe zeigt, sogleich in Unschlitt, so hat er einen solchen Grad der Härte, dafs er zu Bohrern, Meifseln und ähnlichen Instrumenten gebraucht werden kann. Läfst man ihn aber wenige Minuten länger in der Flamme, bis er die hellblaue Farbe zeigt, so wird er viel weicher, und ist nur noch zu Uhrfedern und ähnlichen Dingen brauchbar, woher auch jene gewöhnlich blau sind. Bleibt endlich der Stahl so lange in der Flamme, bis die dunkelblaue Farbe hervortritt, so wird er so weich, dafs er von neuem gehärtet werden mufs, ehe er zu Bohrern und Messerklingen gebraucht werden kann. Alle jene Farben zeigt aber der Stahl, wenn er zerbrochen wird, nur an der äufsersten Oberfläche. Dasselbe bemerkte Boyle auch an anderen Metallen. Wenn er geschmolzenes Blei in ein eisernes Gefäfs gofs, und möglichst schnell das Oxyd der Oberfläche abnahm, so folgten die lebhaftesten Farben, ohne eine bestimmte Ordnung bei ihrer Wiederkehr zu beobachten, so schnell nach einander, dafs er kaum Zeit hatte, ihre Folge zu bemerken; die Farbe aber, welche das Blei, wenn es fest wurde, gezeigt hatte, behielt es gleichfalls nur an der äufsersten Oberfläche.

Boyle hält es nicht für unwahrscheinlich, dafs die Ursache der Modifikation des Lichtes, vermöge deren es an der Oberfläche der Körper farbig wird,

theils in den unzähligen Erhöhungen und Vertiefungen liege, die man mit einem Mikroskope selbst an den Körpern, welche sich dem unbewaffneten Auge als vollkommen glatt darstellen, wahrnimmt, theils in der Gestalt der Körpertheilchen an der Oberfläche, theils in ihrer Lage sowohl gegen einander, als auch in Beziehung auf das Licht und das Auge. Er findet diese Ansicht schon deſshalb nicht unwahrscheinlich, weil es Blinde gebe, die bloſs durchs Gefühl die Farben unterscheiden können, wie Joannes Vermaasen, aus der Gegend von Maastricht, der in einem Alter von zwei Jahren durch die Pocken das Gesicht verloren hatte. Der Anatom Finch, der anfangs zweifelte, ob dabei nicht ein Betrug obwalten mögte, begab sich selbst nach Maastricht. Der Blinde, dem die Augen verbunden, und Bänder von verschiedenen Farben vorgelegt waren, fehlte, nachdem er diese vier- oder fünfmal angegeben hatte, nur zweimal; er hatte die weiſse mit der schwarzen, und die rothe mit der blauen Farbe verwechselt. Er erklärte sich dahin, daſs die schwarze und weiſse Farbe die rauhesten sein, und sich einander so ähnlich, daſs es schwer sei, sie zu unterscheiden; die rauhere aber sei die schwarze. Grün sei an Rauheit dem Weiſsen am nächsten, Grau (*caesius color*) dem Grünen. Dann folge die gelbe Farbe. Roth und Blau aber sein einander so ähnlich, daſs man sie leicht verwechseln könne, doch sei ersteres ein wenig rauher, als das letztere.

Aus vielen Experimental-Untersuchungen, die Boyle angestellt hatte, folgert er, daſs die weiſsen Körper diejenigen sein, die unter allen am meisten das Licht, welches sie empfingen, zurückwerfen, daſs folglich die permanente weiſse Farbe nicht eine Qualität, eine solchen Körpern von Natur inwohnende

Eigenschaft, die ihnen selbst bei der Abwesenheit des Lichtes bleibe, genannt werden könne. Er schliefst dies unter anderen daraus, dafs er bei dem reinsten Schnee, den er in ein völlig dunkeles Zimmer gebracht hatte, durchaus nichts Weifses bemerken konnte. In einem eben solchen Zimmer stellte er nicht weit von einer Oeffnung, durch welche Licht einfiel, ein Blatt weifsen Papieres auf, liefs von diesem die Sonnenstralen auf eine weifse Wand fallen, und fand, dafs ein solches weifses Blatt bei weitem mehr Licht zurückwarf, als wenn er es von einer anderen Farbe wählte. Wenn er Brennspiegel [1]) gegen ein Stück weifsen Papieres richtete, so verging längere Zeit, ehe das Papier entzündet, oder selbst nur entfärbt wurde; nahm er aber schwarzes Papier, so wurde es augenblicklich entzündet. Dabei zeigte sich das Sonnenbild auf dem weifsen Papiere nicht so scharf begrenzt, wie auf dem schwarzen. Zog er auf die Hand einen schwarzen Handschuh, so wurde sie sehr schnell, und viel stärker erwärmt, als wenn er die blofse Hand gegen die Sonne hielt, oder einen weifsen Handschuh anzog.

Aus diesen und mehreren anderen Versuchen schliefst nun Boyle, dafs die Körper, welche wir weifs nennen, die Eigenschaft haben, die Lichtstralen nicht nach sich, sondern von sich zu reflektiren, und dafs die Theilchen an der Oberfläche solcher Körper gröfstentheils konvex sein mögten. Doch will er diese Behauptung, so wie überhaupt alles, was er über die Farben sagt, als eine blofse Konjektur, bei welcher er wenigstens die meiste Befriedigung finde, angese-

1) *Vulgaria specula caustica, qualia solent adhiberi ad Nicotianam accendendam.*

hen wissen. Auf die konvexe Gestalt der Theilchen an der Oberfläche weifser Körper wird er besonders dadurch geleitet, dafs der aus konvexen Bläschen bestehende Schaum beliebig gefärbter Körper sich jedesmal weifs zeige.

Die Entstehung des Schwarzen erklärt Boyle aus Ursachen, die denen, durch welche das Weifse bewirkt wird, entgegengesetzt sind.

Was aber die übrigen Pigmente betrifft, so fand er, dafs unter ihnen von dem rothen das meiste Licht, weniger von dem gelben, noch weniger von dem grünen und blauen reflektirt wird. Ein marmorirtes und geglättetes Stück Papier warf sein Licht mit ungleicher Zerstreuung zurück.

Die von Kircher über die Tinktur des nephritischen Holzes angestellten Beobachtungen berichtigte Boyle. Er konnte nur zwei Farben unterscheiden, wenn er die Tinktur in ein gläsernes Gefäfs gofs. Bei durchgehendem Lichte zeigte sie sich goldfarben, mit Ausnahme des obersten Randes, der zuweilen ins Himmelblaue spielte; bei zurückgeworfenem Lichte aber war sie dunkelblau. Auch die Tropfen, die etwa an dem Gefäfse hängen blieben, zeigten eben diese Farbe. War sie aber stark gesättigt mit dem Farbestoffe des Holzes, so ging die gelbe Farbe des durchgelassenen Lichtes ins Röthliche über. Wenn er etwas von dieser Tinktur auf weifses Papier gofs, und, den Rücken der Sonne zugekehrt, den Schatten einer Feder auf dieselbe fallen liefs, so bemerkte er ihn nicht dunkel, sondern farbig, an den Rändern goldgelb, und im Inneren blau. Gofs er ein wenig destillirten Weinessigs in die Tinktur, so zeigte sie bei jeder Lage gegen das Licht nur die Goldfarbe. Ihre frühere Eigenschaft erhielt sie dann erst wieder,

wenn er den Weinessig durch einige Tropfen flüssigen Weinsteinsalzes neutralisirte.

Man sieht aus allem diesen, dafs sich die ersten Andeutungen zu der von Newton gegebenen Erklärung der permanenten Farben schon bei Boyle finden. Dieser scheint auch der erste Optiker zu sein, der auf die bekannte Verschiedenheit der Farbe, welche dünne Goldblättchen bei durchgelassenem und reflektirtem Lichte zeigen, aufmerksam machte, auch die Farben anderer dünnen Lamellen, namentlich der Seifenblasen, als eine Erscheinung hinstellte, die einer gröfseren Beachtung werth sei.

Von der Verbesserung der Fernröhre und Mikroskope in der Mitte und gegen das Ende des siebzehnten Jahrhunderts.

Divini, Campani, Neille, Reive, Cox, Borel, Auzout und Hartsoeker schleifen Objektiv-Gläser von sehr grofsen Brennweiten — Gascoigne erfindet die Mikrometer — Die Mikroskope werden verbessert von Divini, Hartsoeker, Adams, Gray und Leeuwenhoek.

Ehe ich zu der neuen Epoche, die mit Newton für die Optik begann, übergehe, habe ich noch einige Werke, meist von bedeutendem Umfange, zu nennen, die sich mehr durch Anleitungen zu einer vollkommeneren Technik, als durch die Mittheilung wichtiger Entdeckungen, oder durch eine zweckmäfsigere Methode auszeichnen.

Zu diesen Werken gehört die *Dioptrique ocu-*

laire [1]) des Chérubin d'Orleans, und desselben Verfassers *La vision parfaite* [2]), des Jesuiten Zacharias Traber *Nervus opticus* [3]), des Johannes Zahn *Oculus artificialis teledioptricus* [4]). Mehr auf die Theorie beschränken sich Andreas Tacquet [5]) und William Molyneux [6]).

In Folge aller dieser Bemühungen machte die Technik in der Mitte des siebzehnten Jahrhunderts sehr bedeutende Fortschritte. Die Objektiv-Gläser, die aus den Werkstätten des Eustachio Divini in Rom, und des Matthäus Campani [7]) in Bologna hervorgingen, zeichneten sich eben so durch die Länge ihrer Brennweiten, wie durch die Güte der Glasmasse, und durch die Genauigkeit, mit der sie geschliffen waren, aus. Bei seinen kostspieligen Unternehmungen von Ludwig XIV. unterstützt, brachte Campani Gläser von sechs und achtzig, hundert, und hundert sechs und dreifsig Pariser Fufs Brennweite zu Stande [8]). Mit Gläsern dieses Künstlers, denen man den Vorzug selbst vor den Divinischen gab, entdeckte Cassini die beiden nächsten Trabanten des Saturn.

1) Paris, 1671. Fol. Chérubin d'Orleans gehörte dem Capuciner-Orden an.

2) Paris, 1678. Fol.

3) Wien, 1675. Fol. Eine zweite Ausgabe erschien Wien, 1690.

4) Würzburg, 1685. Fol. Eine zweite Ausgabe erschien Nürnberg, 1702. Zahn gehörte zum Orden der Prämonstratenser.

5) *Opera mathematica. Antverpiae*, 1669. Fol. Eine zweite Ausgabe ist vom Jahre 1707.

6) *Treatise of dioptricks. Lond.* 1692. 4to.

7) Er ist Verfasser der Schrift: *Horologium, solo naturae motu atque ingenio dimetiens et numerans momenta temporis, constantissime aequalia. Accedit circinus sphaericus pro lentibus telescopiorum tornandis ac poliendis. Ad Ludovicum XIV. Amstel.* 1678.

8) Montucla, tom. II, pag. 509.

In England gehören zu den berühmtesten praktischen Optikern jener Zeit Paul Neille, Reive und Cox, von denen der letztere ein Objektiv-Glas von hundert Fuſs Brennweite schliff [1]).

In Frankreich zeichneten sich hierin Peter Borel und Auzout aus, dem sogar ein Objektiv von sechshundert Fuſs Brennweite gelang, das er aber, aus Mangel an einer schicklichen Vorrichtung, nicht gebrauchen konnte [2]). Nicolaus Hartsoeker, der Objektiv-Gläser von noch gröſseren Brennweiten geschliffen haben soll, befestigte sie an der Spitze hoher Gegenstände, da auch er nicht Röhren von solcher Länge anwenden konnte, welches Verfahren von Huygens verbessert wurde, der das Objektiv in eine kurze Röhre faſste, und diese mittelst einer Nuſs an der Spitze einer hohen Stange befestigte, so daſs er durch eine dünne Schnur, die über eine, an der Stange befindliche Rolle lief, dem Glase die erforderliche Stellung geben konnte. Auch das Okular war in eine solche Röhre gefaſst, und an der Stange zugleich eine Vorrichtung getroffen, um das Objektiv höher oder niedriger stellen zu können. De la Hire aber fand es zweckmäſsiger, die Röhre des Objektivs fortzulassen, und dieses bloſs in ein Brett zu fassen [3]).

Die Ursache, aus welcher man damals, als die achromatischen Objektive noch nicht erfunden waren, den Gläsern so groſse Brennweiten zu geben suchte, liegt bekanntlich in der Farbenzerstreuung, die zur

1) *Hooke's Experiments*, pag. 261.

2) Montucla, tom. II, pag. 509.

3) Eine ausführliche Beschreibung dieser ganzen, jetzt völlig unbrauchbar gewordenen, Vorrichtuug findet man in der Deutschen Uebersetzung von Smith's Optik, pag. 328. sqq. aus *Hugenii astroscopia compendiaria, tubi optici molimine liberata. Hagae*, 1684.

Folge hat, dafs bei einem gleichen Grade der durch sie bewirkten Undeutlichkeit die Vergröfserungszahlen sich wie die Quadrat-Wurzeln aus den Brennweiten der Objektive verhalten, wie dies schon Huygens fand [1]).

Eine wesentliche Verbesserung erfuhren die astronomischen Fernröhre auch durch die Erfindung der Mikrometer, die zuerst von William Gascoigne gebraucht wurden. Unter den Vertheidigern Karl's I. fiel er bei Marstonmoor früher, als er diese seine Erfindung veröffentlicht hatte; doch kam sein Instrument in die Hände Townley's, der in den „Philosophischen Transaktionen" eine Beschreibung desselben gegeben hat [2]). Die Papiere Gascoigne's, die seine mit dem Mikrometer angestellten Beobachtungen enthalten, sind vom Jahre 1640. Um die Durchmesser der Planeten, oder anderer sehr kleiner Gegenstände, zu messen, brachte er sie zwischen die scharfen Kanten zweier metallenen Platten, die an dem Orte des Bildes aufgestellt waren, und deren Entfernung geändert werden konnte. Weil aber ein helles Bild auf einem dunkelen Grunde immer gröfser gesehen wird, als es wirklich ist, so zog Hooke diesen Platten lieber zwei parallel gespannte Haare vor. Des aus vier Kreuzfäden, die sich unter 45° schneiden, bestehenden Mikrometers bediente sich zuerst Cassini.

1) *Dioptr.*, prop. 56. Huygens, der bei einer gleichen Undeutlichkeit wegen der Farbenzerstreuung auch eine gleiche Helligkeit der Bilder in den Fernröhren voraussetzt, und defshalb das Verhältnifs der Vergröfserungen dem der Objektiv-Aperturen gleich nimmt, findet eigentlich, dafs sich unter diesen Voraussetzungen die Aperturen der Objektive wie die Quadratwurzeln aus den Brennweiten derselben verhalten.

2) No. 25. pag. 457.

Auch bei den Mikroskopen wurden in der Mitte und gegen das Ende des siebzehnten Jahrhunderts wesentliche Verbesserungen gemacht. Der schon früher genannte Divini suchte eine geringere Farbenzerstreuung und eine stärkere Vergröſserung des Objektes und des Gesichtsfeldes dadurch zu erreichen, daſs er das Objektiv aus zwei doppelt-, und das Okular aus zwei plan-konvexen Linsen zusammensetzte, die sich mit ihren erhabenen Seiten berührten. Hartsoeker nahm zu mikroskopischen Linsen gläserne Kügelchen, die er dadurch erhielt, daſs er dünne Glasfäden in einer Alkoholflamme kugelförmig zusammenrollte, und sie darin schmelzen lieſs. Adams bereitete sich noch kleinere Kugeln, indem er bloſs die Enden sehr dünner Glasfäden in einer Alkoholflamme schmolz. Diese Kugelmikroskope lassen zwar im Betreff der Vergröſserung nichts zu wünschen übrig, sie geben aber ein zu kleines Gesichtsfeld, auch stehen sie hinsichts der Helligkeit den mikroskopischen Linsen nach, weil bei ihnen das Objekt fast unmittelbar an der Glasfläche, nämlich in der Entfernung des Brennpunktes, aufgestellt werden muſs, die Brennweite gläserner Kugeln aber der Hälfte des Halbmessers gleich ist.

Stephan Gray nahm Wassertröpfchen, die er in runde Löcher brachte, zu mikroskopischen Linsen. Da sie noch kleiner, als die gläsernen Kügelchen, gemacht werden können, so wird die geringere Brechungskraft des Wassers dadurch ausgeglichen. Brachte er die mikroskopischen Gegenstände in diese Wassertröpfchen selbst, so erhielt er eine Vergröſserung, welche die bei der gewöhnlichen Stellung der Objekte im Brennpunkte der Wasserkügelchen mehr, als dreimal übertraf, indem dann die dem Auge ge-

genüber liegende konkave Seite des Tröpfchens wie ein Hohlspiegel wirkte [1]). Stellt nämlich (Fig. 50.) ADB den Durchschnitt des halben Wassertropfens vor, und ist sein Halbmesser $CA = r$, so mufs sich das Objekt an einer solchen Stelle F zwischen A und C befinden, dafs der Stral FE nach seiner Reflexion in E, und seiner Brechung in D, der Achse AB parallel wird. Um nun diese Stelle zu ermitteln, bestimme man zuerst den Punkt G, in welchem die Verlängerung des Strales DE die Achse schneidet, nach der Halleyschen Formel:

$$x = \frac{afn}{a(n-1)-f}$$

indem man hierin $x = \infty$, $f = -r$, weil der Stral GD auf die konkave Seite des Bogens BD fällt, und weil er aus Wasser in Luft übergeht, $n = \frac{3}{4}$ setzt. Es ist alsdann $a = BG = 4r$, daher $AG = 2r$, und nach der Gleichung $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, wenn die Brennweite des reflektirenden Bogens AE, nämlich $p = \frac{r}{2}$, und $a = -AG = -2r$ genommen wird:

$$AF = \tfrac{2}{5}r,$$
$$CF = \tfrac{3}{5}r.$$

Für die Weite des deutlichen Sehens $= 8$ Zoll ist folglich die Vergröfserung in $F = \frac{8}{CF} = \frac{40}{3r}$, und die im Brennpunkte, der bei einem Wassertropfen in der Entfernung $2r$ von C liegt, $\frac{4}{r}$; beide verhalten sich also wie 10 : 3. Gray fand bei Mikroskopen dieser Art die Bilder am deutlichsten, wenn er sie in einem dunkelen Zimmer beim Kerzenlicht beobachtete.

1) Smith's Optik, pag. 347. sqq.

Sehr berühmt waren in jener Zeit auch die einfachen Mikroskope von Leeuwenhoek, weniger ihrer Vergröſserung, als der Deutlichkeit der Bilder wegen, die durch die Reinheit des zu den Linsen gewählten Glases erreicht wurde [1]). Leeuwenhoek kam auch zuerst auf den Gedanken, undurchsichtige Objekte mittelst einer kleinen messingenen Schüssel zu beleuchten, den in der Folge Lieberkühn zweckmäſsiger ausführte.

Von den Brennlinien.

Wenn die Lichtstralen nach ihrer Zurückwerfung oder Brechung nicht auf denselben Punkt der Achse gerichtet sind, so werden sie Tangenten einer Kurve, die aus einer stätigen Folge von Durchschnittspunkten unendlich naher zurückgeworfener oder gebrochener Stralen besteht. Diese Kurve heiſst Brennlinie durch Zurückwerfung oder Katakaustika, wenn sie durch Spiegel entsteht, Brennlinie durch Brechung oder Diakaustika, wenn sie durch brechende Mittel erzeugt wird. In dem sogenannten Brennpunkte sphärischer Spiegel und Gläser koncentriren sich also nur deſshalb die meisten Stralen, weil sich hier die Zweige jener Kurven vereinigen, während es eigentlich unendlich viele solcher Vereinigungspunkte der Stralen giebt, die man, wenn z. B. ein Hohlspiegel im Rauche, oder in einer mit vielem Staube erfüllten Luft, gegen die Sonne gehalten wird, selbst sichtbar machen kann.

1) *Hugenii Dioptr.*, prop. 50.

Schon Maurolycus hatte, wie ich dort bemerkt habe, auf die Entstehung der Brennlinien aufmerksam gemacht. Die Theorie dieser Linien aber ist zu schwer, als dafs man sie früher, als gegen das Ende des siebzehnten Jahrhunderts, einer Zeit, die so reich war an trefflichen Geometern, hätte feststellen können.

Zuerst hat Huygens die Brennlinie eines Hohlspiegels für parallel einfallende Stralen richtig bestimmt [1]). Von der Brennlinie, welche durch die Brechung paralleler Stralen in einer sphärischen Fläche entsteht, bemerkt er nur, dafs sie nach einem von Barrow in der zwölften optischen Vorlesung bewiesenen Theoreme gefunden, und dafs sie rektificirt werden könne. Jene Abhandlung des Huygens ist zwar erst im Jahre 1690. gedruckt, aber schon im Jahre 1678. geschrieben worden.

Früher wurde daher die Konstruktion eben dieser Katakaustika von Tschirnhausen bekannt gemacht. Man solle nämlich über dem Halbmesser (Fig. 51.) *CB* des reflektirenden Halbkreises *ADB* einen zweiten Halbkreis *CLB* beschreiben, und die Stücke *LE*, *MH* u. s. w. der Ordinaten, welche zwischen beiden Halbkreisen liegen, halbiren, um die Punkte dieser Brennlinie zu erhalten [2]). De la Hire wies jedoch die Unrichtigkeit dieser Konstruktion nach, worauf Tschirnhausen gestand, dafs er sich in den weitläufigen Rechnungen geirrt habe, dafs diese Brennlinie vielmehr von solcher Beschaffenheit sei, dafs sich ihre Länge zu der des Spiegelhalbmessers, wie 3:2 verhalte [3]). Obgleich diese Behauptung richtig ist, so bleibt es doch wahrscheinlich, dafs

1) *De lumine*, cap. 6.
2) *Acta erudit.* 1682.
3) *Ibid.* 1690.

Tschirnhausen jene fehlerhafte Gestalt der Brennlinie blofs daraus gefolgert habe, weil der Mittelpunkt *F* der Ordinate *CD* ein Punkt der Brennlinie ist, zumal da er der Pariser Akademie die Einsicht in seine Rechnungen standhaft verweigerte.

Johann und Jakob Bernoulli [1]), der die Benennungen Katakaustika und Diakaustika einführte, und der Marquis de l'Hospital erweiterten die Theorie dieser Linien beträchtlich. Der letztere besonders trägt sie in einer ausführlichen, und mit so grofser Klarheit geschriebenen Abhandlung vor, dafs die neuere Zeit hier wohl Manches hinzufügen, seine Methode aber nicht übertreffen konnte [2]). Ich werde dieselbe daher in der hier folgenden Entwickelung der Brennlinien zum Grunde legen, mich aber nur auf die Brennlinien des Kreises, die vorzugsweise für die Optik von Interesse sind, beschränken.

Brennlinien durch Reflexion.

1. **Den Punkt (Fig. 52.) *F* zu finden, in welchem zwei von dem leuchtenden Punkte *B* ausgehende, und in unendlich kleiner Entfernung *Mm* auf die beliebige reflektirende Kurve *AMD* fallende Stralen *BM* und *Bm* nach ihrer Reflexion sich schneiden.**

Werden aus *C*, dem Mittelpunkte des Krümmungskreises für den Punkt *M*, auf die einfallenden Stralen *BM* und *Bm* die Lothe *CE* und *Ce*, auf die reflektirten *MF* und *mF* die Lothe *CG* und *Cg* gefällt, so

1) *Acta erudit.*, 1692. und 1693.

2) In der *Analyse des infiniment petits. Seconde edit. Paris*, 1716. pag. 104 bis 130.

sind nicht allein die Dreiecke CEM und CGM, sondern auch die Dreiecke Cem und Cgm kongruent, und man hat daher, wenn der Durchschnittspunkt von CE und Bm mit Q, und der von CG und mF mit S bezeichnet wird:

$$CE - Ce = EQ = CG - Cg = SG.$$

Ferner ist, wenn man aus B mit BM den Kreisbogen MR zwischen den einfallenden, und aus F mit FM den Kreisbogen MO zwischen den reflektirten Stralen beschreibt:

$$BM : BE = MR : EQ,$$

und, da auch die Dreiecke mMR und mMO kongruent, die Linien MO und MR also gleich sind:

$$BM + BE : BM = MR + EQ : MR = MO + SG : MO.$$

Eben so ist

$$MO : SG = MF : FG,$$

und

$$MO + SG : MO = MF + FG : MF = MG : MF,$$

folglich

$$BM + BE : BM = MG : MF,$$

und, wenn man BM mit v, und ME mit w bezeichnet:

$$2v - w : v = w : MF,$$

woraus die Entfernung des Durchschnittspunktes F zweier unendlich nahen, reflektirten Stralen von der spiegelnden Kurve, nämlich:

$$(1)\quad MF = \frac{vw}{2v - w},$$

und, wenn v unendlich grofs ist, die Stralen also unter sich parallel auf die Kurve fallen:

$$(2)\quad MF = \tfrac{1}{2}w;$$

wenn aber die Kurve AMD dem leuchtenden Punkte B ihre konvexe Seite zukehrt, B folglich auf der anderen Seite von M liegt, und v daher negativ ist:

$$(3)\quad MF = \frac{vw}{2v + w}.$$

Da die Katakaustika durch eine stätige Folge solcher Punkte, wie F, entsteht, so ist man schon durch diese Gleichungen in den Stand gesetzt, die Gestalt jener Brennlinien für eine jede Kurve zu bestimmen.

2. Die Katakaustika zu rektificiren.

Auf die reflektirende Kurve (Fig. 53.) AMD fallen die unendlich nahen Stralen BM und Bm, die sich nach der Reflexion in K schneiden; ihre Katakaustika sei AFK, AT eine Tangente des Punktes A derselben, und TLl die evolvirende Linie der Evolute AFK, so dafs $TA + AK = LK$ für jeden Punkt M in AMD. Beschreibt man aus B mit BM den Kreisbogen MR, und aus K mit KM den Kreisbogen MO, so sind die Dreiecke MmO und MmR kongruent, und $mR = mO$. Da also mR, die Differenz zwischen den unendlich nahen einfallenden Stralen, gleich mO, der Differenz zwischen lm und LM, so sind auch die Summen aller dieser Differenzen für jeden endlichen Theil AM der reflektirenden Kurve einander gleich, folglich:

$$LM - TA = LK - MK - TA = BM - BA.$$

Da ferner

$$LK = TA + AK,$$

so ist auch

$$AK - MK = BM - BA,$$

und

$$AK = BM + MK - BA.$$

Liegt der leuchtende Punkt B in unendlicher Entfernung, ist also der aus B mit BA beschriebene Kreisbogen AP als eine gerade Linie anzusehen, die zugleich auf BA und BM winkelrecht steht, so hat man:

$$AK = PM + MK.$$

3. Die Katakaustika eines Halbkreises (Fig. 54.) *AMD* zu finden, wenn die einfallenden Stralen *BM* winkelrecht auf dem Durchmesser *AD* sind.

Man beschreibe über der Hälfte *ML* des Halbmessers *CM* einen Kreis, so ist der Punkt *F*, in welchem der reflektirte Stral *MF* denselben schneidet, ein Punkt der gesuchten Katakaustika. Bezeichnet man nämlich den Durchschnittspunkt des einfallenden Strales *BM* und des Kreises *ML* mit *O*, so sind die rechtwinkeligen Dreiecke *LMF* und *LMO* kongruent, folglich da *BM* die Linie ist, die in 1. mit w bezeichnet würde, $MO = \frac{1}{2}w = MF$, wie es der dortige Werth von *MF* für ein unendlich grofses v verlangt. Liegt der einfallende Stral in der Richtung des Sinus totus *CH*, so ist $CH = w$, und der Mittelpunkt *K* dieses Halbmessers ein Punkt der Brennlinie; fällt aber der Stral in dem Endpunkte *A* des Durchmessers ein, so ist $w = 0$, und die Brennlinie geht durch diesen Punkt selbst. Auch sieht man, dafs der reflektirte Stral den höchsten Punkt der Brennlinie berühren werde, wenn der Einfallswinkel $BMC = 45°$, weil alsdann der reflektirte Stral dem Durchmesser parallel ist.

Beschreibt man mit *CK* den Quadranten *KLG*, so sind die Bogen *LK* und *LF* einander gleich. Da nämlich der Winkel $FMC = CMB = MCH$, so hat die Hälfte des Bogens *LF* eben so viele Grade, wie der Bogen *LK*. Weil sich aber die Bogen *LF* und *LK* wie ihre Halbmesser, also wie 1:2 verhalten, so ist die Hälfte des Bogens *LF* nur halb so lang, wie *LK*, der ganze Bogen *LF* also dem Bogen *LK* gleich. Die Brennlinie *AFK* ist daher eine Epicykloide, entstanden durch die Umwälzung des beweg-

lichen Kreises ML auf dem unbewegten Quadranten KLG.

Zur Rektification dieser Brennlinie hat man aus 2.:

$$AF = BM + MF = 3.MF;$$

die ganze Katakaustika aber ist:

$$AFK = CH + HK = \tfrac{3}{2}CH,$$

und es verhält sich die Länge dieser ganzen Linie zum Halbmesser des reflektirenden Halbkreises, wie 3:2, so wie dies Huygens gefunden hatte.

4. Die Katakaustika eines Halbkreises (Fig. 55.) BMD zu finden, wenn der leuchtende Punkt B, von dem die einfallenden Stralen BM ausgehen, ein Endpunkt des Durchmessers ist.

Zieht man von dem Mittelpunkte C auf den einfallenden Stral $BM = v$ die Linie CE winkelrecht, so ist $ME = BE = \tfrac{1}{2}v$ die in 1. mit w bezeichnete Linie. Es ist daher $MF = \dfrac{vw}{2v - w} = \tfrac{1}{3}v = \tfrac{1}{3}BM$. Für den einfallenden Stral BD, für welchen das Loth CE in den Punkt C fällt, ist $v = 2.CD$, $w = CD$, folglich der reflektirte Stral $DK = \tfrac{1}{3}BD$, und $CK = \tfrac{1}{6}BD$. Das Stück BF der Brennlinie ist daher nach 2. gleich $BM + MF = \tfrac{4}{3}BM$, und die Länge der ganzen Brennlinie $BFK = BD + DK = \tfrac{4}{3}BD$. Ist $BM = BC$, so wird der reflektirte Stral dem Durchmesser BD parallel, und ist derjenige, der die Brennlinie in dem höchsten Punkte berührt.

Nimmt man $CH = \tfrac{1}{3}CM$, und fällt aus H ein Loth auf MF, so liegt der Durchschnittspunkt F beider Linien in der Katakaustika. Denn zieht man auch HG winkelrecht gegen BM, so ist $MF = MG$, folglich, da $HM = \tfrac{2}{3}CM$:

$$MG = MF = \tfrac{2}{3}ME = \tfrac{1}{3}BM,$$

derselbe Werth, der vorhin dafür gefunden würde. Ein Halbkreis mit dem Durchmesser MH geht also durch den Punkt F der Brennlinie. Beschreibt man mit dem Halbmesser $CH = \frac{1}{3}CM$ einen anderen Halbkreis LHK, so sind nicht allein beide ihrer gleichen Halbmesser wegen, sondern auch die Bogen HK und HF einander gleich. Die Brennlinie BFK ist daher gleichfalls eine Epicykloide, die durch die Umwälzung des beweglichen Kreises MH auf dem unbewegten Halbkreise KHL erzeugt wird.

Brennlinien durch Brechung.

5. **Den Punkt (Fig. 56.) F zu finden, in welchem zwei, von dem leuchtenden Punkte B ausgehende, und in unendlich kleiner Entfernung Mm auf die beliebige brechende Kurve AMD fallende Stralen BM und Bm nach ihrer Brechung sich schneiden.**

Da hier das brechende Mittel hinter AMD als das dichtere vorausgesetzt werden soll, so sei, wenn CM der Krümmungshalbmesser für den Punkt M ist, CE der Sinus des Einfalls-, und CG der des Brechungswinkels für den Stral BM, Ce der Sinus des Einfalls-, und Cg der des Brechungswinkels für den Stral Bm. Es werde ferner aus B mit BM der Kreisbogen MR zwischen den beiden einfallenden, aus F mit FM der Kreisbogen MO zwischen den beiden gebrochenen Stralen beschrieben; der Durchschnittspunkt von ME und Ce sei Q, der von MF und Cg sei S.

Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke FMO und FSg ergiebt sich zunächst:

$$MO - Sg : MO = MF - SF : MF.$$

Es sind aber auch die Dreiecke MOm und MGC, so wie die Dreiecke MRm und MEC ähnlich, daher ist auch:

$$Mm : MO = MC : MG,$$
$$Mm : MR = MC : ME,$$

folglich

$$MO : MR = MG : ME,$$

und, wenn ME mit w, und MG mit z bezeichnet wird:

$$MO = \frac{z}{w} MR.$$

Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke BMR und BQe ergiebt sich ferner:

$$BM : BQ \text{ oder } BE = MR : Qe,$$

und, wenn $BM = v$ gesetzt wird:

$$Qe = \frac{v + w}{v} MR.$$

Da aber das Brechungsverhältnifs $m : n$ für alle Punkte M dasselbe bleibt, so ist auch:

$$Ce : Cg = CE : CG = m : n,$$

daher

$$Ce - CE : Cg - CG = Qe ; Sg = m : n,$$

und

$$Sg = \frac{n(v + w)}{mv} MR.$$

Setzt man endlich die so gefundenen Werthe von MO und Sg in die erste Proportion, so erhält man:

$$(1) \quad MF = \frac{mvz^2}{mvz - nvw - nw^2};$$

wenn aber die Kurve ihre konkave Seite dem leuchtenden Punkte zukehrt, v also negativ ist:

$$(2) \quad MF = \frac{mvz^2}{mvz - nvw + nw^2},$$

und in beiden Fällen, wenn die Stralen parallel einfallen, v folglich unendlich grofs ist;

$$(3)\ MF = \frac{mx^2}{mx - nw};$$

wenn überdies in eben diesem Falle der Stral BM in M winkelrecht auf der brechenden Kurve steht, die Linien w und x also, die beide alsdann mit dem Krümmungshalbmesser zusammenfallen, einander gleich sind;

$$(4)\ MF = \frac{mw}{m - n};$$

wenn aber BM die Kurve in M berührt, und $w = 0$ ist, aus (1) und (2):

$$(5)\ MF = x;$$

wenn endlich die Kurve von dem gebrochenen Strale in M berührt wird, und $x = 0$ ist, aus (1) und (2):

$$(6)\ MF = 0.$$

Da man die Reflexion als eine Brechung ansehen kann, bei welcher der Einfalls- dem Brechungswinkel gleich und entgegengesetzt ist, so müssen sich die Werthe (1) und (2) von MF in die unter 1. für eine Katakaustika gefundenen verwandeln, wenn man darin w negativ, und $m = n$, folglich $w = x$ setzt, wie dies der Fall ist. Denn man erhält alsdann, übereinstimmend mit 1.:

$$MF = \frac{vw}{2v \mp w}.$$

6. Die Diakaustika zu rektificiren.

Durch Involvirung der Diakaustika (Fig. 56.) HFN mit der Linie HA wird eine Kurve AK in der Art entstehen, dafs, wenn die unendlich nahen Stralen FM und Fm diese Kurve in L und l treffen, die Summe der Tangente LF und des Theiles

FH der Brennlinie überall derselben geraden Linie AH gleich ist. Da sich nun in den ähnlichen Dreiecken MmR und CME, MmO und CMG:

$$Mm : mR = CM : CE,$$
$$Mm : mO = CM : CG$$

verhält, so ist

$$mR : mO = CE : CG = m : n,$$

in welchem Verhältnisse $m : n$ also auch die Summe aller Differenzen mR von A bis M, d. i. $BM - BA$, und die Summe aller Differenzen mO von A bis M, d. i. $LM = AH - MF - FH$ stehen. Es ist daher

$$BM - BA : AH - MF - FH = m : n,$$

und

$$FH = AH - MF + \frac{n}{m} BA - \frac{n}{m} BM.$$

7. **Die Diakaustika eines Kreis-Quadranten (Fig. 57.) AMD, auf dessen konvexe Seite die parallelen Stralen BA, BM, BD fallen, zu finden.**

Man beschreibe über MC einen Halbkreis, mache, wenn das Brechungsverhältnifs $m : n$, wie bei dem Uebergange aus Luft in Glas, $= 3 : 2$ ist, nachdem BM bis zum Punkte E dieses Halbkreises verlängert worden, die Chorde CG desselben $= \frac{2}{3} CE$, und es ist MG die Richtung des gebrochenen Strales, der die Diakaustika in F treffe. Die Länge MF dieses Strales findet man nach 5. (3) aus der Gleichung:

$$MF = \frac{3 . MG^2}{3 . MG - 2 . ME},$$

worin der Werth der Linien ME und MG von der Gröfse des Einfallswinkels abhängt. Die Entfernung des Punktes H, in welchem die Diakaustika den verlängerten horizontalen Halbmesser AC schneidet, von

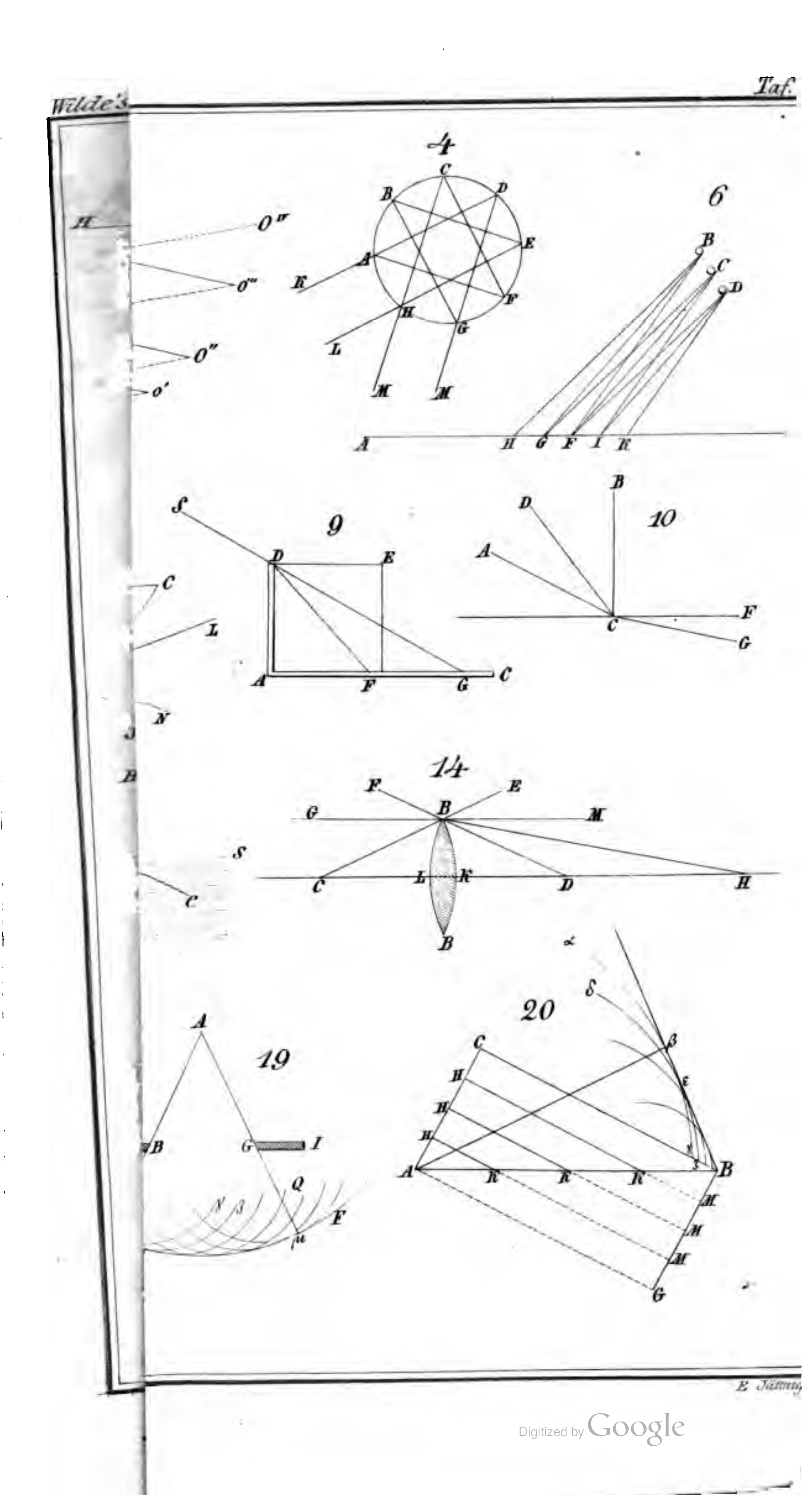
dem Punkte A ergiebt sich nach 5. (4) $= 3.AC$. Für den berührenden Stral BD ist der Halbmesser CD selbst der Sinus des Einfallswinkels. Beschreibt man daher über CD einen Halbkreis CND, und macht $CN = \frac{2}{3}CD$, so geht MF für den Punkt D nach 5. (5) in den Werth DN über, und N ist der Anfangspunkt der Diakaustika. Der Theil HF derselben ist $= AH - MF + \frac{2}{3}(BA - BM)$, und die ganze Diakaustika $NH = AH - DN - \frac{2}{3}AC = \frac{7-\sqrt{5}}{3}AC$.

8. **Die Diakaustika eines Kreis-Quadranten (Fig. 58.) AMD, auf dessen konkave Seite die parallelen Stralen BA, BM, BN fallen, zu finden.**

Macht man, nachdem über MC ein Halbkreis, der von BM in E geschnitten wird, beschrieben ist, die Sehne $CG = \frac{3}{2}CE$, so ist GM die Richtung des gebrochenen Strales, der verlängert die Diakaustika in F berühre. Aus 5. (4) ergiebt sich hier, wo das Licht aus Glas in Luft übergeht, also $m:n = 2:3$ ist, $AH = -2.AC$, ein negativer Werth, weil die brechende Kurve der Diakaustika ihre konvexe Seite zukehrt. Der Anfangspunkt N der Brennlinie hängt von dem gröfsten Werthe, den CE erhalten kann, also von dem Werthe $CE = \frac{2}{3}CD$ ab, da CG keinen gröfseren Werth, als $CN = CD$ annehmen kann. Alle Stralen, die auf den Theil ND des Quadranten AD fallen, können daher nicht gebrochen werden, weil sich das Brechungsverhältnifs für dieselben nicht konstruiren läfst, sondern sie werden nach dem katoptrischen Gesetze reflektirt. Die Länge der ganzen Dia-

kaustika NH ist, da der in N gebrochene Stral den Quadranten in N berührt, und deſshalb nach 5. (6) gleich Null ist, $= AH + \frac{3}{2}(BA - BN)$, und, wenn man aus N das Loth NL auf den horizontalen Halbmesser AC fällt, $= AH + \frac{3}{2}AL = \frac{7 - \sqrt{5}}{2} AC$.

Berlin, gedruckt bei A. W. Hayn.



4
C
B
D
E
A
K
F
H
G
L
M
M
6
B
C
D
A
H
G
F
I
K
9
S
D
E
A
F
G
C
10
B
D
A
F
C
G
14
F
E
G
B
M
C
L
K
D
H
B
19
A
B
G
I
Q
F
20
C
H
H
H
A
K
K
K
B
M
M
M
G
δ
β
ε

E. Jänig

23

24

28

32

33

36

37

39

38

42

43

50

49

51

52

57

58